



**André Filipe Nobre
Lopes de Almeida**

**Sistema de monitorização de dados para
exploração agrícola**



**André Filipe Nobre
Lopes de Almeida**

**Sistema de monitorização de dados para
exploração agrícola**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Automação Industrial, realizada sob orientação científica de João Paulo Barraca, Professor Auxiliar do Departamento de Eletrónica e Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro da Universidade de Aveiro e do Prof. Doutor Luís Nero Alves, Professor Auxiliar do Departamento de Eletrónica e Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

O júri / The jury

Presidente / President

Prof. Doutor Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

Prof. Doutor João Paulo Barraca
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador)

Doutora Joana Catarina Martins Mendes
Investigadora do Instituto de telecomunicações

Agradecimentos / Acknowledgements

Todas as palavras jamais chegaram para agradecer todos aqueles diretamente ou indiretamente colaboraram nesta última caminhada de conclusão deste projeto. Desde já o meu agradecimento a todos vós. Em primeiro lugar ao meu orientador, o Professor Doutor Luís Filipe Mesquita Nero Moreira Alves e ao Professor Doutor João Paulo Silva Barraca por ambos terem possibilitado todas as condições necessárias para a execução, desta dissertação bem como por todo o apoio prestado. Em segundo lugar à bióloga Ana Jervis Cunha que me auxiliou no conhecimento relativamente à apicultura..

Aos meus colegas de laboratório do Instituto de Telecomunicações, Pedro Rodrigues, Filipe Duarte, Miguel Bergano, Luís Duarte, Luís Filipe Abade e Clara Lucas bem como os colegas do departamento de mecânica da Universidade de Aveiro, João Alexandre, Robertt Valente e João Mário, por toda contribuição concedida e por toda amizade. O meu muito obrigado.

Ao Instituto de Telecomunicações pelas condições fornecidas para a elaboração deste trabalho e à Quinta Ecológica da Moita que forneceu as suas colmeias.

Finalmente aos meus pais Fernando Almeida e Lúcia Nobre e minha irmã Inês Almeida por toda a sua serenidade que demonstraram e transmitiram nos momentos mais difíceis desta última fase do projeto.

Palavras-chave

Colmeias; Abelhas; Sistemas de monitorização; Arduino, microcontroladores

Resumo

Resultante do decréscimo nível mundial do número de abelhas e o que pode estar a originar esse desaparecimento, muitas opiniões têm surgido. Devido a esta problemática, muitas são as soluções que emergem numa tentativa de solucionar. E, dado o crescimento exponencial de novas tecnologias, estas soluções, na sua grande maioria, baseiam-se na área de redes de sensores que permitem comunicar entre si. Neste projeto é proposto uma estrutura que permita medir vários parâmetros. Esta solução visa vários objetivos principais: a medir o fluxo de abelhas nas colmeia, medir temperatura/humidade ambiente interior, por fim a conceção de um sistema anti-roubo.

Keywords

Hives; Bees; Monitoring systems; Arduino; Microcontrollers

Abstract

Resulting from global bee disappearance and what might be the cause of their disappearance, many opinions have emerged. Due to this problem, there are many solutions that emerge in an attempt to solve it. Given the exponential growth of new technologies, these solutions, mostly based on the area of sensor networks for communicating with each other. Present means of understanding and the problem. In this project it is proposed a structure to measure various parameters. This solution serves several main objectives: to measure the flow of bees in the hive, measure temperature/humidity inside the hive, and, finally an anti-theft system.

Conteúdo

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 1.1 | Motivação | 2 |
| 1.2 | Objetivos | 3 |
| 1.3 | Metodologia | 3 |
| 1.4 | Organização da Dissertação | 3 |
| 2 | Monitorização Remota de Colmeias. | 5 |
| 2.1 | Colmeia e sua Organização. | 6 |
| 2.1.1 | Tipo de Colmeias. | 6 |
| 2.1.2 | Localização de Colmeias. | 9 |
| 2.1.3 | A abelha | 9 |
| 2.1.4 | Perigo e Ameaças. | 12 |
| 2.2 | Sistemas de Monitorização de Colmeias. | 13 |
| 2.2.1 | Arquitectura Conceptual do Sistema. | 13 |
| 2.2.2 | Os Sensores e suas Funções. | 14 |
| 2.2.3 | Aquisição e Processamento de dados. | 15 |
| 2.2.4 | Transmissão de Dados e Análise. | 16 |
| 2.3 | Sistemas de monitorização. | 16 |
| 2.3.1 | Tipo de sistemas de monitorização em colmeias. | 17 |
| 2.4 | Soluções existentes no âmbito das colmeias. | 17 |
| 2.4.1 | Solução <i>Hive Monitor</i> | 18 |
| 2.4.2 | Solução <i>Smart Citizen</i> | 18 |
| 2.4.3 | Solução <i>Arnia</i> | 19 |
| 2.4.4 | Solução <i>SolutionBee</i> | 20 |
| 2.4.5 | Solução <i>iBeeCare</i> | 21 |
| 2.5 | Notas finais | 24 |
| 3 | Projeto e montagem | 25 |
| 3.1 | Conceção de um sensor de fluxo de abelhas com Infravermelhos | 25 |
| 3.2 | Descrição do Esquema/Circuito | 29 |
| 3.2.1 | Placa Mãe | 31 |
| 3.2.2 | Gateway | 44 |
| 3.3 | Algoritmo de Fluxo de Abelhas | 52 |
| 3.4 | Autonomia do sistema | 57 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.5 | Notas finais | 58 |
| 4 | Consolidação e testes de desempenho do protótipo | 59 |
| 4.1 | Testes em laboratório | 59 |
| 4.1.1 | Emissores e Recepção | 59 |
| 4.1.2 | Sensor Temperatura/Humidade | 61 |
| 4.1.3 | Sensor Anti-roubo | 63 |
| 4.2 | Testes de comunicações | 65 |
| 4.3 | Desafios encontrados | 67 |
| 4.4 | Soluções encontradas | 68 |
| 4.5 | Estrutura na colmeia | 68 |
| 4.6 | Notas finais | 70 |
| 5 | Conclusão e trabalhos futuros | 71 |
| 5.1 | Linhas de desenvolvimento futuros | 72 |
| A | Projeto e montagem | 1 |
| B | Projeto e montagem | 3 |
| C | Projeto e montagem | 5 |
| C.0.1 | Circuito emissão | 5 |
| D | Projeto e montagem | 7 |
| D.0.2 | Circuito emissão | 7 |
| E | Projeto e montagem | 9 |
| E.0.3 | Circuito emissão | 10 |
| F | Projeto e montagem | 11 |
| F.0.4 | Circuito recepção | 11 |
| G | Projeto e montagem | 13 |
| G.0.5 | Circuito recepção | 14 |
| H | Consolidação e testes de desempenho do protótipo | 15 |
| H.1 | Desafios encontrados | 15 |
| | Bibliografia | 15 |

Lista de Tabelas

| | | |
|-----|---|----|
| 3.1 | Conexões rádio e Arduino. | 48 |
| 3.2 | Tabela de comparação de BeagleBoneBlack com BeagleBone. | 50 |
| 3.3 | Conexões rádio e BBB. | 50 |
| 3.4 | Composição do pacote da mensagem. | 51 |
| 4.1 | Ligações Arduino com sensor AM2302. | 62 |

Lista de Figuras

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Abelha - A pequena heroína [1]. | 2 |
| 2.1 | Tipo de Colmeias [2]. | 6 |
| 2.2 | Constituição de uma colmeia. | 7 |
| 2.3 | Colmeia Top Bar (a) , Colmeia Langstroth (b). [3] | 9 |
| 2.4 | Apiário. | 10 |
| 2.5 | Membros da colmeia. (a), Realeira.(b) [4] | 10 |
| 2.6 | Túnel de teste de velocidades da abelha. | 12 |
| 2.7 | Gráfico da velocidade das abelhas. | 13 |
| 2.8 | Arquitetura do Sistema. | 14 |
| 2.9 | Sensor Anti-roubo [5](a), Sensor Acelerómetro [6](b) | 15 |
| 2.10 | Controlo por Imagem. [7] | 15 |
| 2.11 | Sistema monitorização da <i>OpenEnergyMonitor</i> [8] | 18 |
| 2.12 | Sistema da Smart Citizen.[9] | 19 |
| 2.13 | <i>Sistema Arnia</i> . [10] | 20 |
| 2.14 | Sistema <i>SolutionBee</i> [11] | 21 |
| 2.15 | Estrutura do sistema da <i>SolutionBee</i> . [12] | 21 |
| 2.16 | Sistema monitorização da <i>iBeeCare</i> [13]. | 22 |
| 2.17 | Tabela de comparação de produtos. | 23 |
| 3.1 | Régua reguladora de entrada de abelhas | 26 |
| 3.2 | Desenhos da Régua de medição de fluxo. | 27 |
| 3.3 | Régua de medição de fluxo. | 27 |
| 3.4 | Os primeiros protótipos. | 28 |
| 3.5 | Segundo protótipo. | 28 |
| 3.6 | Diagrama de Blocos do Sistema. | 29 |
| 3.7 | Sensor Temperatura/Humidade. | 30 |
| 3.8 | Sensor Tilt. | 31 |
| 3.9 | Testes de ângulos e distâncias entre emissores. | 33 |
| 3.10 | Restrição do ângulo de abertura dos emissores e ângulo de campo de visão mínimo do recetor. | 34 |
| 3.11 | Régua de testes dos dispositivos. | 35 |
| 3.12 | Sistema de emissão. | 36 |
| 3.13 | Símbolo do fotodiodo. | 37 |
| 3.14 | Fototransistor. | 37 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.15 | Amplificador ótico de transimpedância. | 39 |
| 3.16 | Amplificação dos dispositivos de receção. | 40 |
| 3.17 | Esquemático do circuito de receção. | 41 |
| 3.18 | Lógica de controlo de emissão. | 42 |
| 3.19 | Lógica de controlo Desmultiplexeres | 43 |
| 3.20 | Sequência dos emissores. | 44 |
| 3.21 | Ligações do módulo de rádio. | 46 |
| 3.22 | Consola de emissão do Arduino (a), Consola de receção do BBB (b). | 47 |
| 3.23 | Envio das mensagens do Arduino para BBB. | 48 |
| 3.24 | Menu de iniciação de comunicações. | 49 |
| 3.25 | Pacote de mensagem do Arduino para o BBB. | 51 |
| 3.26 | Algoritmo de cálculo do fluxo de abelhas. | 52 |
| 3.27 | Desenho do sinal dos recetores. | 53 |
| 3.28 | Sequência e níveis da entrada e saída. | 54 |
| 3.29 | Máquina de estado do controlo de fluxo. | 56 |
| 3.30 | Bateria que alimenta o sistema. | 57 |
| 4.1 | Sinal à saída do amplificador. | 60 |
| 4.2 | Sistema instalado na Régua de fluxo. | 60 |
| 4.3 | Tempo de amostragem do sistema. | 61 |
| 4.4 | Esquema de ligações do Arduino e sensor <i>AM2302</i> | 62 |
| 4.5 | Mensagem do sensor <i>AM2302</i> | 63 |
| 4.6 | Sensor anti-roubo. | 64 |
| 4.7 | Funcionamento básico do sensor Anti-roubo. | 64 |
| 4.8 | Pacote das 4 mensagens de envio. | 66 |
| 4.9 | Pacote das 4 mensagens de receção. | 66 |
| 4.10 | Estrutura de proteção da régua. | 67 |
| 4.11 | Gabarito de furação dos dispositivos de emissão e receção. | 68 |
| 4.12 | Caixa de protecção da régua. | 69 |
| A.1 | Circuito geral do sistema. | 2 |
| B.1 | Layout do sistema geral. | 4 |
| C.1 | Circuito dos emissores. | 5 |
| D.1 | Placa de circuito impresso dos emissores. | 7 |
| E.1 | Layout da placa dos Emissores | 10 |
| F.1 | Circuito de receção. | 11 |
| G.1 | Layout da placa dos Recetores. | 14 |
| H.1 | Primeiras ideias da caixa do sistema. | 15 |

Acrónimos

| | |
|-------------|---|
| BBB | <i>Beaglebone Black</i> |
| CSN | <i>Chip Select SPI</i> <i>Pino Seleção</i> |
| CE | <i>Chip Enable</i> <i>Ativação do Dispositivo</i> |
| DRAM | <i>Dynamic Random Access Memory</i> <i>Memória Dinâmica de acesso aleatório</i> |
| FTP | <i>File Transfer Protocol</i> <i>Protocolo de Transferência de ficheiros</i> |
| GSM | Global System for Mobile communications <i>Sistema global para Comunicações</i> |
| GMS | Global Mobile Communications System <i>Sistema Global para Comunicações Móveis</i> |
| GPS | <i>Global Positioning System</i> <i>Sistema de Posicionamento Global</i> |
| HDMI | High-Definition Multimedia Interface <i>Interface Multimídia de Alta Definição</i> |
| IRQ | Interruption <i>Interrupção</i> |
| IR | Infrared <i>Infra vermelho</i> |
| IDE | Integrated Drive Electronics <i>Integrados Eletrônicos drive</i> |
| LCD | Liquid Crystal Display <i>Tela de Cristal Líquido</i> |

| | |
|-------------|--|
| LED | Light-Emitting Diode <i>Díodo emissor de luz</i> |
| MISO | Master Input Slave Output <i>Entrada mestre e saída escrava</i> |
| MOSI | Master Output Slave Input <i>Saí da mestre entrada escrava</i> |
| PCB | Printed Circuit Board <i>Placa de circuito impresso</i> |
| PWM | Pulse-Width Modulation <i>Modulação por largura de pulso</i> |
| RX | Receiver <i>Receção</i> |
| RAM | Random Access Memory <i>Memória de acesso variável</i> |
| SPI | Serie Peripheral Interface <i>Interface série periférico</i> |
| SCK | Clock <i>Relógio</i> |
| SS | Slave Select <i>Seleciona qual o escravo receberá os dados</i> |
| TX | Transmitter <i>Transmissão</i> |
| T/H | Temperature and Humidity <i>Temperatura e Humidade</i> |
| UART | Universal Asynchronous Receiver/Transmitter <i>Receção e Transmissão Assíncrona Universal</i> |
| USB | Universal Serial Bus <i>Barramento série universal</i> |

Capítulo 1

Introdução

"Se as abelhas desaparecerem da face da terra, a humanidade terá apenas mais quatro anos de existência. Sem abelhas não há polinização, não há reprodução da flora, sem flora não há animais, sem animais não haverá raça humana".
Albert Einstein

Nos últimos anos tem se assistido ao desaparecimento da população de abelhas a nível mundial, muitos cientistas não entendem o que está a levar ao seu desaparecimento. Há muita especulação desde então, muitas opiniões tem surgido desde: uso de pesticidas, radiação eletromagnética, vespas, e condições climáticas. Todos estes fatores levam a um decremento populacional colocando em perigo um eco-sistema que estamos habituados a ver no nosso quotidiano. Muitos dos alimentos que habitualmente vemos nos hipermercados daqui a uns anos podem não existir, desde às amêndoas, às laranjas, aos limões, aos morangos, às cerejas e aos melões. Estes são alguns dos exemplos de alimentos provenientes da polinização das abelhas.

Sendo as abelhas figura 1.1 um dos maiores polinizadoras do mundo, sem elas 30% das nossas lavouras mundiais e 90% das plantas selvagens iriam morrer. Devido a estes fatores cada vez mais têm surgido projetos relacionados com a apicultura, por vezes estes necessitam de um grande *knowhow* ou são extremamente caros para os apicultores. Nesta dissertação vamos demonstrar um sistema que permite a qualquer apicultor conseguir monitorizar de uma forma eficaz as suas colmeias, permitindo fazer a sua própria investigação sobre o seu apiário.

Esta solução visa dois objetivos principais, por um lado, monitorizar temperatura e humidade no interior das colmeias, emitir alertas de intrusão e por outro lado verificar o fluxo de abelhas em cada colmeia a um dado instante.

A arquitetura proposta encontra-se dividida em três módulos: monitorização 'colmeia a colmeia', monitorização 'de apicultor para apicultor' e visualização de controlo.

A monitorização colmeia a colmeia permite recolher informações de cada colmeia, desde alertas de roubo, temperaturas/humidades e fluxos de abelhas em cada colmeia.



Figura 1.1: Abelha - A pequena heroína [1].

A monitorização 'de apicultor para apicultor' permite escolher que tipo de dados o apicultor quer recolher do seu apiário sendo esta informação dependente do critério do apicultor.

Como o próprio nome diz a visualização de controlo permite uma visualização dos dados recolhidos de cada sensor.

1.1 Motivação

A Universidade de Aveiro, bem como o Instituto de Telecomunicações criaram a oportunidade de fazer investigação de sistemas de monitorização agrícolas. Desde algum tempo que a universidade tem vindo a realizar projetos na área agrícola, visto que é uma área em forte expansão ao nível tecnológico. Na lógica destes esforços resulta o trabalho desta dissertação. Um estudo de uma implementação de um protótipo que permite verificar o fluxo de abelhas numa colmeia, bem como a sua temperatura e humidade. Uma vez que este tipo de trabalho demonstrava um enorme interesse devido a ter de criar um sistema de medição de fluxo de abelhas. Este tipo de monitorização não era muito falado pelos apicultores, muitos nem sequer tinham ouvido falar sobre o assunto. O que representa por si só motivo de interesse científico e tecnológico. Bastante, para motivar este trabalho.

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem o seguinte objetivo:

- Projetar um sistema de medição de fluxo de abelhas, temperatura/humidade interior, sistema de anti-roubo e com comunicação rádio.

1.3 Metodologia

A elaboração desta dissertação, pode ser estruturada por várias etapas:

- Estudo teórico sobre apicultura, esta análise foi suportada com base na leitura e com base em reuniões com pessoas que realizam investigação na área da apicultura e com apicultores.
- Estudo dos tipos de sensores que podem ser usados na implementação do medidor de fluxo sem perturbar a colmeia. O tipo de informações mais convenientes ao apicultor relativamente ao seu apiário.
- Especificação e implementação do sistema. Este sistema consiste num conjunto de sensores que detetam as entradas e saídas. Por fim temos mais dois sensores um de temperatura/ humidade e outro sensor para realizar a deteção de movimento.
- Medição e avaliação de resultados obtidos no protótipo implementado.

1.4 Organização da Dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida por vários capítulos:

- O capítulo 2 Monitorização Remota de Colmeias, introduz o tema da apicultura até ao estado de hoje.
- O capítulo 3 Projeto e Montagem apresenta a arquitetura do sistema e descreve a sua construção.
- O capítulo 4 Consolidação e Testes de desempenho do protótipo, são apresentados todos os testes em laboratório de todas as partes do sistema.
- O capítulo 5 Conclusão e trabalhos futuros, apresenta as conclusões foram obtidos com o protótipo desenvolvido e a melhorias que podem ser realizadas futuramente.

Capítulo 2

Monitorização Remota de Colmeias.

*"For bees, the flower is the fountain of life.
For flowers, the bee is the messenger of love".*

Kahill Gibran

A relação do homem com as abelhas parece ser muito antiga. Não se trata apenas só de recolher um alimento disponível na natureza, de sabor agradável. A dificuldade em o obter quando os enxames selvagens ocupavam ninhos por si escolhidos, tantas vezes em locais pouco acessíveis para o homem.

Embora as abelhas sejam animais não domesticados, o passo seguinte será o aproveitamento do mel anualmente da mesma colónia. Sendo respeitada a recolha bem como os limites de extração, para que não se esgotem as reservas alimentares indispensáveis para as abelhas, bem como a sobrevivência da criação. A construção de apiários foi um curto passo, oferecendo às abelhas um abrigo construído, idêntico ao que elas procuravam na natureza, mas controlado, permitindo uma maior intervenção em todo o processo.

Abrigá-las das intempéries, deslocá-las ao ritmo da floração nas diferentes áreas de terreno disponíveis, alimentá-las nas estações mais agrestes, protege-las de inimigos naturais, muitos foram os cuidados dispensados a estas obreiras incansáveis desde o mundo antigo. Em contrapartida, elas fornecem o quase único adoçante conhecido e acessível para a maioria das populações até à moderna vulgarização do açúcar, bem como a cera com múltiplas utilizações.

2.1 Colmeia e sua Organização.

2.1.1 Tipo de Colmeias.

Existem varios tipos de colmeias, indo desde do Cortiço natural até às colmeias mais recentes, Lusitana, Reversível, Top Bar, *Langstroth* ou Padrão.

A colmeia de cortiço é a mais natural possível uma vez que é feita em cortiça e toda ela rústica. O seu interior é constituído por várias divisões onde as abelhas vão construir o favo figura 2.1.



(a) Colmeia Cortiço



(b) Colmeia Lusitana

Figura 2.1: Tipo de Colmeias [2].

A história da colmeia Lusitana provém do Padre Manuel Tavares de Sousa (1872-1958) [14] pela imaginação e sucessivas experiências de alterações da colmeia já existente, adaptando-a à realidade apícola dessa época. Naquela época as colmeias eram no entanto colmeias de grandes dimensões, difíceis de manipular e cujas dimensões não se adequavam ao enxame e à abelha ibérica. A colmeia figura 2.2 (a) foi alterada reduzindo as dimensões do ninho figura 2.2 (d), para proporcionar uma relação altura/largura aos quadros que melhor se adaptava à postura da rainha portuguesa, com tendência para ocupar um espaço elíptico. Reduzindo ainda o número de quadros de 12 para 10, a altura das alças figura 2.2 (b), dos quadros do mel, bem como o número dos quadros, que passaram a 8, criando, assim, a colmeia Lusitana figura 2.1 (b).



(a) Melgueira e quadro de alça.



(b) Quadro de alça.



(c) Fundo móvel da colmeia.



(d) Ninho da colmeia.

Figura 2.2: Constituição de uma colmeia.

A colmeia TopBar figura 2.3 tem como origem África, mais precisamente no Quênia onde sofreu algumas adaptações que lhe permitiram ser bem-sucedida nos climas temperados, tendo visto em anos recentes uma expansão notável na Europa e América do Norte. Sendo uma colmeia de fácil utilização dá ao apicultor uma melhor compreensão do seu enxame. A colmeia Top Bar (a), [15] é equipada com barras de topo (Top bar), na ranhura das quais se esfrega uma barra de cera parcialmente derretida por uma fonte de calor. Será a partir desta linha de cera que as abelhas construirão o seu favo, naturalmente. O favo natural tomará a forma elíptica, não tocando, por regra, nas paredes.

Um dos padrões mais usados no mundo é a Langstroth ver figura 2.3 (b) tendo sido ela desenvolvida a partir de pesquisas científicas ficando conhecida como colmeia Standard ou Americana. É atualmente a mais usada à escala mundial, por atender às necessidades biológicas das suas ocupantes.

A colmeia Langstroth é constituída por várias partes:

- Assoalho ¹ ou fundo móvel, que protege a sua parte inferior e abriga o Alvado ².
- Ninho (com dez quadros), onde se desenvolverão os favos para depósito de mel, pólen ou crias;
- Melgueira (com dez quadros), onde será depositado o mel;
- Quadros ou Caixilhos Hoffman, são estruturas de madeira abertas e servem de suporte para desenvolvimento dos favos. Sendo móveis e facilitam a visualização do interior da colmeia;
- Tampa;
- Alvado, também se pode chamar-se de porta de colmeia, acessório regulável e de grande importância para a defesa da família. É instalado na entrada da colmeia, de forma a permitir a entrada e saída das abelhas. Nos períodos de frio, esta é reduzida, para conservar maior calor no interior da colmeia. Nas épocas de floradas ou de calor, esta abertura é aumentada.

¹Fundo da colmeia.

²É a abertura da entrada e saída das abelhas.

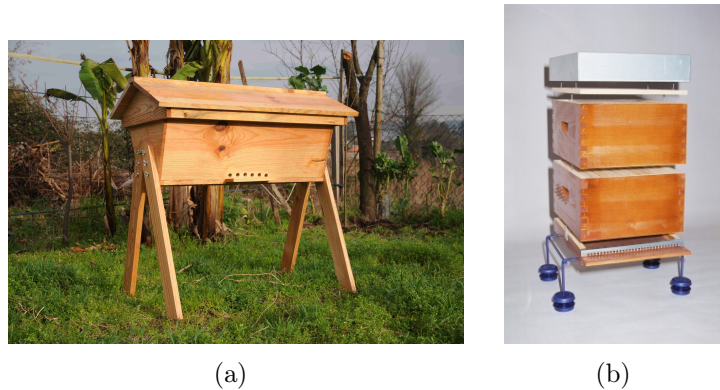


Figura 2.3: Colmeia Top Bar (a) , Colmeia Langstroth (b). [3]

2.1.2 Localização de Colmeias.

Dentre os vários aspetos que devem ser levados em conta quando se pretende instalar um apiário, a disponibilidade de recursos florais é, sem dúvida, a mais importante. Um apiário fixo é caracterizado pela permanência das colmeias durante todo o ano num local previamente escolhido, onde as abelhas irão explorar as fontes florais disponíveis no seu raio de ação (máximo de $3km$ para uma recolha produtiva). Como as abelhas não são deslocadas, permanecendo no apiário durante todo o ano, a escolha do local assume uma importância fundamental na manutenção das colmeias e produtividade do apiário. Algumas regras devem ser seguidas para que se possa garantir a segurança das pessoas e animais, em função da presença de abelhas. Convém que o apiário seja cercado, utilizando estacas de madeira, arame ou materiais que estejam disponíveis no local, como tijolos e madeiras como se mostra na figura 2.4. Os apiários devem estar implantados a mais de $50m$ da via pública e $100m$ de qualquer zona habitacional, caminhos rurais e agrícolas, bem como as zonas destinadas à atividade apícola do apicultor detentor do apiário [16].

2.1.3 A abelha

As abelhas são insetos sociais, vivem em colmeias bem organizadas onde os indivíduos se dividem em castas e possuindo funções bem definidas. Permitindo assim a sobrevivência e manutenção do enxame. Numa colmeia há uma rainha, as operárias e os zangões como pode ser visualizados na figura 2.5. As operárias tem de comprimento $10mm$ a $15mm$, as rainhas são um pouco maiores, com $18mm$ a $20mm$, e os zangões com $15mm$ a $17mm$ de comprimento na maturidade. A rainha tem por função cuidar dos ovos, mantendo a ordem social através da libertação de feromonas na colmeia. A libertação dessa feromona têm como função atrair e informar os membros da colmeia que existe uma rainha presente e em atividade, inibindo igualmente a produção de outras rainhas. Serve ainda para auxiliar no re-



Figura 2.4: Apiário.

conhecimento da colmeia e na orientação das operárias. A rainha adulta é a única fêmea fértil da colmeia. Apresenta um aparelho reprodutor bem desenvolvido. A larva da rainha é criada num alvéolo, bem maior que os das larvas operárias e dos zangões. Têm um formato cilíndrico e é conhecido por realeira, como é apresentado na figura 2.5. A sua alimentação é feita pelas operárias com a geleia real, rica em proteínas, vitaminas e hormonas sexuais. [17]

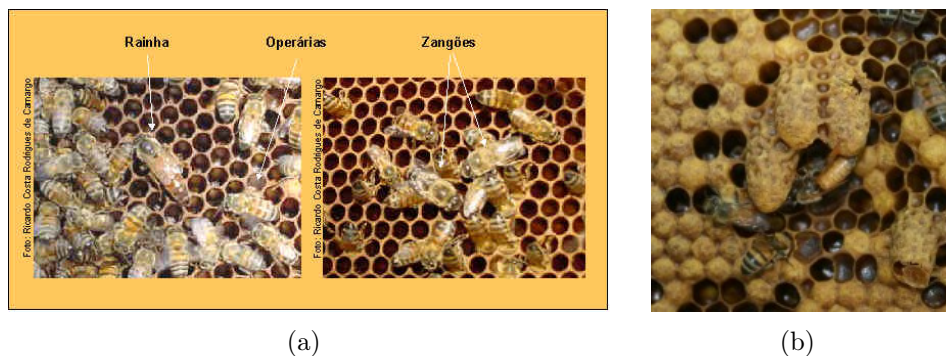


Figura 2.5: Membros da colmeia. (a), Realeira. (b) [4]

Após a morte da rainha as operárias escolhem os ovos recentemente depositados ou larvas com até 3 dias de idade, que se desenvolvem em células especiais, realeiras, para a produção de novas rainhas. A primeira rainha a nascer destrói as restantes e luta com outras rainhas que tenham nascido ao mesmo tempo até que apenas uma sobreviva.

As operárias têm os órgãos reprodutores atrofiados, assim não são capazes de se reproduzirem. Porque na fase de larva, elas receberam menos alimento nutritivo e em menor quantidade que a rainha, que produz feromonas que inibem o sistema reprodutor das operárias na fase adulta.

As operárias possuem órgãos de defesa e trabalho perfeitamente desenvolvidos,

muitos não são observados na rainha e no zangão, como a corbícula³ e as glândulas de cera.

Os zangões são os machos da colónia, cuja a única função é fecundar a rainha durante o voo nupcial. As larvas de zangões são criadas em alvéolos maiores que os alvéolos das larvas de operárias, levando 24 dias para completarem o seu desenvolvimento de ovo a adulto. São maiores e mais fortes do que as operárias, não possuem órgãos para trabalho nem ferrão e, em certos períodos, são alimentados pelas operárias.

A estimativa da velocidade das operárias em voo no solo é de $0.5m/s$ e com uma velocidade máxima de $1.5m/s$, este tipo de dados foi retirado do artigo [18] que realiza várias experiências de velocidades das abelhas. Mas nunca referindo à velocidade das abelhas a andar pelo solo. Apresentam os olhos mais desenvolvidos e antenas com maior capacidade olfativa. Possuem asas maiores e musculatura de voo mais desenvolvida. Permitindo maior orientação, percepção e rapidez para a localização de rainhas virgens durante o voo nupcial.

Há todo interesse em saber qual seria a velocidade da abelha no solo, quando estas aterram na placa de voo da colmeia. Para conseguir implementar a deteção do medidor de fluxo. Por não haver mais informação relativamente às velocidades das abelhas no solo estima-se que as velocidades sejam bem inferior às velocidades do voo no solo.

A experiência consiste em colocar abelhas a percorrer um túnel com diferentes dimensões e com diferentes padrões do chão e verificar a velocidade que demorava a percorrer esse mesmo túnel, como pode ser visualizado na figura 2.6. As abelhas ao percorrer um túnel com chão axadrezado têm uma velocidade de $0.5ms^{-1}$, mas ao percorrer um túnel com um chão com listagens têm uma velocidade bem diferente, igual a $1.5ms^{-1}$. Nesta primeira experiência não era relevante o comprimento do túnel mas sim o padrão do chão [18].

Numa segunda fase da experiência estava em estudo a velocidade da abelhas para diferentes larguras do túnel. Um túnel com uma largura de $21cm$, a abelha anda com uma velocidade cerca de $1.7ms^{-1}$, mas se entrar num túnel de $11.5cm$ de largura a velocidade diminui para uma velocidade cerca de $0.8ms^{-1}$ [18].

³cesta de pólen é a parte da tíbia da perna traseira da abelha, onde é feito o transporte de materiais sólidos

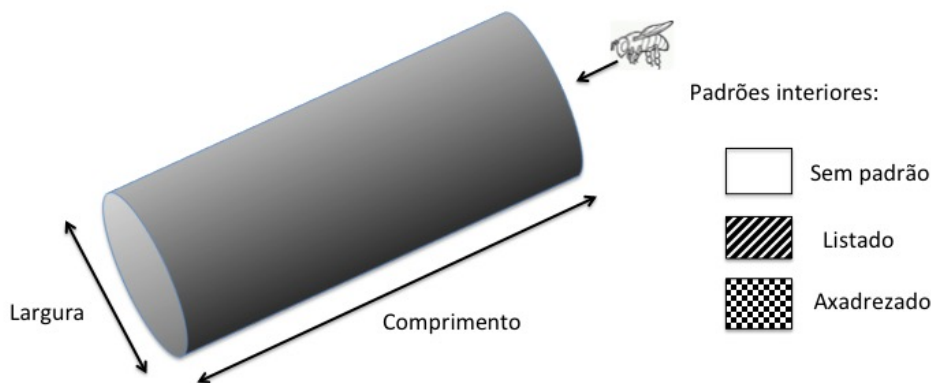


Figura 2.6: Túnel de teste de velocidades da abelha.

A partir do estudo efetuado do artigo podemos verificar no gráfico da figura 2.7 que as abelhas têm diferentes tipos de velocidades dependendo do tipo de chão e largura túnel. Podemos concluir que quanto mais estreito for o túnel mais lenta é a velocidade da abelha, logo consideramos as dimensões da nossa estrutura assumimos um tempo de deteção da abelha é suficiente.

2.1.4 Perigo e Ameaças.

As abelhas estão cada vez mais ameaçadas de extinção. A abelha europeia *Apis mellifera* está a ser dizimada pela *vespa velutina*, predadora proveniente da Ásia. As *vespas velutinas* estão em vigia, estacionadas sobre as colmeias. São quatro ou cinco, às vezes dez. Permanecem horas a fio, no ar, à espera. Revezam-se se estiverem cansadas. Assim que uma abelha arrisca a saída, uma *vespa velutina* ataca-a, perseguindo-a até a prender nas patas. Tem mandíbulas muito fortes, com as quais não lhe custa muito decapitar a presa. Depois, suga a massa interior do tórax da abelha e leva-a para o ninho, para alimentar a sua criação. Passado algumas horas, volta à vigia. As abelhas ficam com duas hipóteses: ou largam da colónia para um voo suicida ou ficam lá dentro, até morrerem todas.

Existe também o síndrome de colapso das colmeias, é um fenómeno crescente cuja origem os cientistas não conseguem estabelecer em definitivo. Há uns anos acreditou-se que as antenas de telecomunicações desorientavam as abelhas, e por

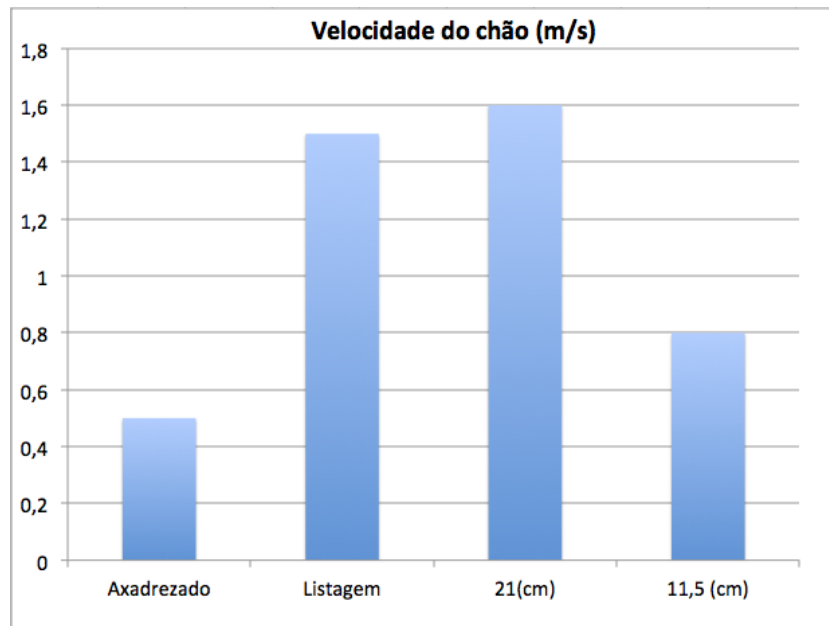


Figura 2.7: Gráfico da velocidade das abelhas.

isso elas abandonavam a colónia [19] [20]. Hoje a tese dominante tem que ver com os pesticidas.

O uso de substâncias neonicotinoides⁴ nas sementes, tem um efeito devastador nas abelhas, intoxicando-as. Certo é que cada vez mais, as abelhas estão a abandonar as colmeias, sem razão evidente. Abandonam a criação a polinização e partem para a morte, numa espécie de suicídio coletivo.

Outra ameaça é o aumento do roubo das colmeias, por esse motivo os apicultores não revelam por vezes as localizações dos seus apiários. O mercado ligado à apicultura tem vindo a despertar mais interesse devido à subida do preço dos enxames. Atingindo uma média de cinquenta euros por enxame, o dobro de à dez anos. Sabendo que cada colmeia tem entre dez e oitenta mil abelhas. Por todos estes motivos é cada vez mais necessário desenvolver sistemas de monitorização para uma melhor compreensão e proteção. [21]

2.2 Sistemas de Monitorização de Colmeias.

2.2.1 Arquitectura Conceptual do Sistema.

O conceito mais usual em várias arquiteturas de colmeias, são sensores de telemetria⁵. Recebem dados desde temperatura e humidade. No nosso trabalho o

⁴inseticidas

⁵Telemetria é uma tecnologia que permite a medição e comunicação de informações de interesse do operador. Sistemas que necessitam de instruções e dados enviados para o sistema para

sistema de comunicação figura 2.8, consiste numa *Gateway*, que está conectada a uma ligação Internet. Esta ligação à Web vai permitir visualizar os dados do sistema em vários equipamentos remotos.

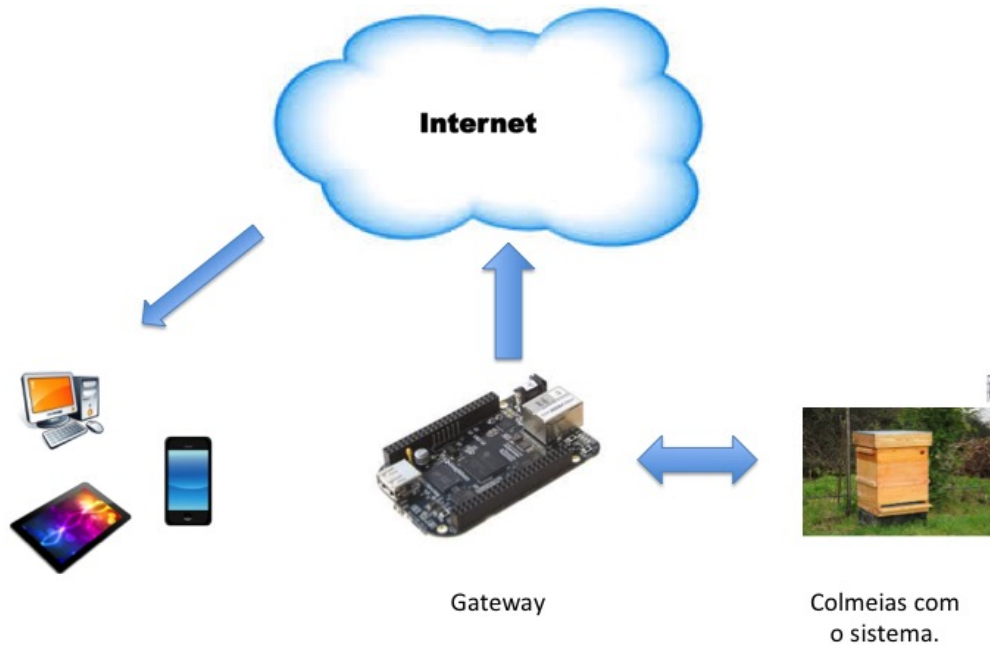


Figura 2.8: Arquitetura do Sistema.

2.2.2 Os Sensores e suas Funções.

O desenvolvimento de sistemas de monitorização de colmeias são baseados em telemetria proporcionando dados como temperatura, humidade, peso, som, com o intuito de detetar os mais diversos problemas e evitar o roubo. Havendo grande variedade de sensores para cada tipo de variável. Para o sistema anti-roubo há soluções desde da mais simples até mais complexa. Nas figuras 2.9 estão apresentadas dois tipos de soluções possíveis. Desde os sensores de *Tilt* que detetam orientação ou inclinação, tendo um baixo consumo e de fácil utilização e dimensões reduzidas. O acelerómetro figura 2.9 permite medir a aceleração de um corpo, (normalmente está ligado nele). A complexidade do acelerómetro, varia de acordo com o número de eixos. Em caso de roubo localiza a colmeia, disparando um alarme ao apicultor.

que sejam analisados, o que correspondente a telemetria, também é utilizado para recolhimento de dados meteorológicos.

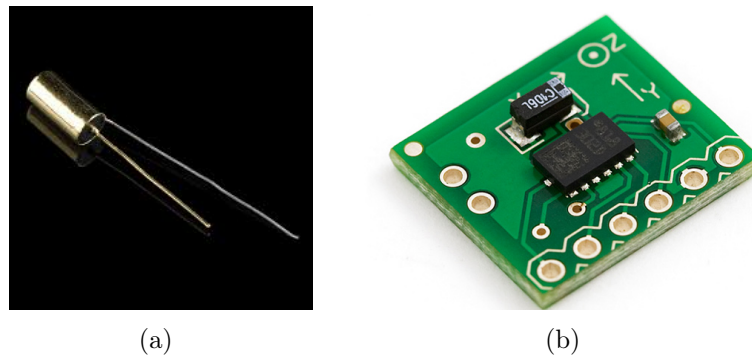


Figura 2.9: Sensor Anti-roubo [5](a), Sensor Acelerómetro [6](b)

As condições climatéricas são extremamente importantes para uma colmeia assim sendo, controlar a temperatura e humidade no interior é relevante. Esta informação permite compreender porque são frequentes as doenças nas abelhas ou como estas podem estar a ser afetadas pelas alterações climáticas.

O controlo de fluxo permite controlar as entradas e saídas das abelhas, este tipo de controlo permitirá ser realizado de várias formas dependendo do seu grau de complexidade. A intensidade do zumbido das abelhas ao voarem a uma frequência que ronda os 225Hz até os 285Hz [22], é indicativo da população de abelhas na colmeia. O vídeo, sendo uma tecnologia recente que está a ser implementada, tendo várias câmaras de vídeo e dispositivos de computação figura 2.10.

Os sensores de infravermelho também permitem fazer a medição de fluxo. Usando por exemplo túneis bidirecionais do tamanho da abelha, cada um equipado com duplo sensor IR. Este vai refletir um feixe de luz que ao ser interrompido permite saber qual o sentido do movimento [23].



Figura 2.10: Controlo por Imagem. [7]

2.2.3 Aquisição e Processamento de dados.

Os sistemas de aquisição de dados através do recurso a placas de desenvolvimento permitem a virtualização, armazenamento e controlo de diversas grandezas tais como seja a temperatura, humidade, peso e posição.

No dia de hoje, com o uso deste tipo de plataformas e de diversos softwares também é possível criar ambientes de trabalho bastante atrativos para uma grande variedade de aplicações.

Os kits de desenvolvimento mais usados nestes tipos de projetos tais como Arduinos, *Raspberry*, *Beaglebone* são alguns dos eleitos não só pelo seu baixo custo, mas também pelas características únicas deste tipo de plataformas. Permitem fazer processamento de dados, depois de trabalhados num computador, assim é possível construir sistemas de aquisição de dados adaptados especificamente às necessidades de cada projeto. Sendo assim permitindo obter um sistema personalizado e economicamente vantajoso.

2.2.4 Transmissão de Dados e Análise.

A transmissão de dados através do sistema de monitorização sem fios, convém ser de fácil instalação, pronto a utilizar e com capacidade de registo e de visualização. Existem alguns sistemas de dados sem fios tais como Global Mobile Communications System (GMS), Rádio, Xbee que permitem efetuar a transferência de dados muitos destes módulos são usados na apicultura para monitorizar. A captação de informações acontece graças à comunicação entre as antenas de rádio de cada um dos módulos que, transferem o sinal entre si, garantindo a transmissão dos dados até uma estação base. Assim sendo, é possível monitorizar as abelhas de qualquer parte do mundo, sendo necessário apenas que a estação base esteja conectada à Internet.

2.3 Sistemas de monitorização.

Devido às abelhas serem umas das mais importantes polinizadoras, as abelhas enfrentam numerosos poluentes, pesticidas⁶ e fungicidas⁷ que as colocam em risco de extinção. Sem estes animais, a produtividade nos campos cairá drasticamente, ameaçando a segurança alimentar global. Para ajudar a enfrentar o problema, a monitorização ambiental é fundamental para criar métodos de prevenção do desaparecimento de animais polinizadores.

A implementação de sistemas de monitorização, permitem detetar ocorrências de falhas, acidentes e medição de parâmetros bem como gerir. Com base em tecnologias em *software* e *hardware*, à vários sistemas que disponibilizam ferramentas próprias de monitorização. Estes sistemas têm a capacidade de vigiar infraestruturas, plataformas, serviços e aplicações. Este tipo de ferramentas apresentam uma grande importância, gerando relatórios de dados, acompanhando a evolução de desempenhos e enviando alarmes, mensagens ou outros meios que alertam para falhas nos sistemas. Estes sistemas são adaptáveis às necessidades onde são instalados, apresentam uma visão dos recursos que estão a ser utilizados, detetam potenciais

⁶São substâncias que tem como objetivo destruir qualquer tipo de praga.

⁷É um pesticida que destrói a ação dos fungos que geralmente atacam as plantas.

falhas numa fase inicial, reduzindo tempos de resposta e danos causados por essas falhas.

Uma monitorização e diagnósticos da informação proveniente da colmeia aumentam a eficiência de produção de mel bem como efetuar uma manutenção mais atempada em problemas que possam surgir nas colmeias. A monitorização constitui o primeiro elemento de medida de controlo do estado do apiário. A partir da informação obtida o apicultor pode aplicar medidas com mais eficácia que salvaguardem o bom funcionamento da colónia de abelhas. A escolha da tecnologia a utilizar passa pelo tipo de grandeza que o apicultor deseja obter das suas colmeias, o meio em que irá ser feito e eventuais condicionantes técnicas, ou ambientais em que o apiário está instalado.

2.3.1 Tipo de sistemas de monitorização em colmeias.

Na área de monitorização de colmeias tem havido muitos sistemas de sensores que podemos considerar uma mais valia na monitorização de colmeias. Os sensores vão dos mais comuns entre os apicultores, o sensor de peso que permite controlar a produção de mel na colmeia. Sensores de higrometria,⁸ que permitem avaliar tipo de condições climatéricas em que a colmeia está inserida. Sensores de pressão atmosférica que são realmente muito úteis por duas razões, uma delas é para medir altitude e a pressão do ar. Em segundo lugar, a pressão atmosférica pode ser usada como um indicador de tempo, assim como é falado muitas vezes nas previsões de tempo. Sensores de aproximação, detetam se alguém se aproximou e se removeu algo da colmeia ou mesmo se está a deslocar a colmeia do local da instalação. Existem várias soluções de proteção das colmeias baseados em sistemas de *Global Positioning System* (GPS) e comunicação de dados. Estas soluções comerciais têm no entanto mostrado alguns problemas que dificultam a sua disseminação pelos apicultores e, conseqüentemente, a proteção efetiva dos apiários e dos elevados investimentos feitos. A autonomia destes sistemas tem muita importância, porque o apicultor não deseja ir todos os meses fazer manutenção do sistema que adquiriu.

2.4 Soluções existentes no âmbito das colmeias.

Muitos projetos têm surgido nesta área, na monitorização e controlo de abelhas, mas os que existem ou são caros ou inviáveis para os apicultores. Os sistemas desenvolvidos têm como base microcontroladores, sensores de temperatura, humidade, peso e sistemas anti-roubo. Algumas empresas especializaram-se em sistemas de anti-roubo e como colocar informação de localização em aplicações móveis.

⁸Parte da Física que ensina a determinar a humidade dos corpos, particularmente do ar.

2.4.1 Solução *Hive Monitor*.

O Brasil tem vindo a implementar este tipo de tecnologia de monitorização em colmeias. Um dos sistemas usados é o *Hive Monitor* figura 2.11 permite controlar em rede vários sensores e atuadores com "inteligência" distribuída com base em microcontroladores. Sendo visualizados os dados por dispositivos que geram diariamente e automaticamente os dados fornecidos pelos sensores, que por sua vez são gravados num servidor *File Transfer Protocol* (FTP). O *Bee Hive Monitor* é um *software* livre de monitorização da *OpenEnergyMonitor* que possibilita informação de dados ao utilizador desde temperatura até à humidade. Possibilitando ver as horas num display em tempo real, ver os consumos do sistema. Ainda fornece os dados não só para um servidor, como também os regista a cada 60s num cartão de memória. [8]



Figura 2.11: Sistema monitorização da *OpenEnergyMonitor* [8]

Todo o software pode ser adquirido livremente no site da empresa⁹. A alimentação é realizada por uma bateria de 12V que dá ao sistema uma autonomia para alguns meses. O sistema ainda tem um relógio que é usado para efetuar leituras com data, hora atual que são visionados num display Liquid Crystal Display (LCD).

Este sistema tem como característica o elevado número de sensores e locais onde são efetuadas as medições na colmeia. O sistema permite não só visualizar resultados numa página Web.

2.4.2 Solução *Smart Citizen*.

A *Smart Citizen* figura 2.12 é outro sistema de monitorização de software livre, o que permite fornecer aos apicultores informações em tempo real sobre o estado das suas colmeias. Os dados observados podem ser desde, temperatura, humidade, dióxido de carbono e dióxido de nitrogénio, podendo ser visualizados por meio de uma página de Internet. Contendo um sensor anti-roubo, quando se aproxima alguém da colmeia envia uma mensagem ao apicultor. O apicultor tem de efetuar a compra da placa de desenvolvimento, porque esta tem embutidos todos sensores.

⁹<http://openenergymonitor.org/emon/bee hive/v2>



Figura 2.12: Sistema da Smart Citizen.[9]

Este sistema apresenta uma grande variedade de sensores, desde temperatura, humidade, pressão atmosférica, som, de gases CO_2 e NO_2 , luz e acelerómetros. Na realidade este tipo de placa de desenvolvimento é muito completa, mas apresenta uma grande desvantagem. Estes sensores estão todos embutidos na placa de desenvolvimento, basta haver um avaria num dos sensores para que se tenha de levar todo sistema para arranjar.

2.4.3 Solução *Arnia*.

O sistema *Arnia* figura 2.13 foi projetado por apicultores para apicultores, tendo vindo a acompanhar colmeias desde 2011. Os seus sistemas estão instalados atualmente em centenas de colmeias em vários países diferentes. Permite assim monitorizar o estado das colónias de abelhas a partir de qualquer dispositivo habilitado de Internet, como um *smartphone*, *tablet*, ou computador. Permite também realizar monitorização acústica nas colmeia juntamente com outros parâmetros de medição tais como da temperatura do ninho, humidade, peso da colmeia e verificam as condições meteorológicas do apiário. Contém ainda sistemas de segurança, informação sobre atividade da colmeia e condições do apiário [24].

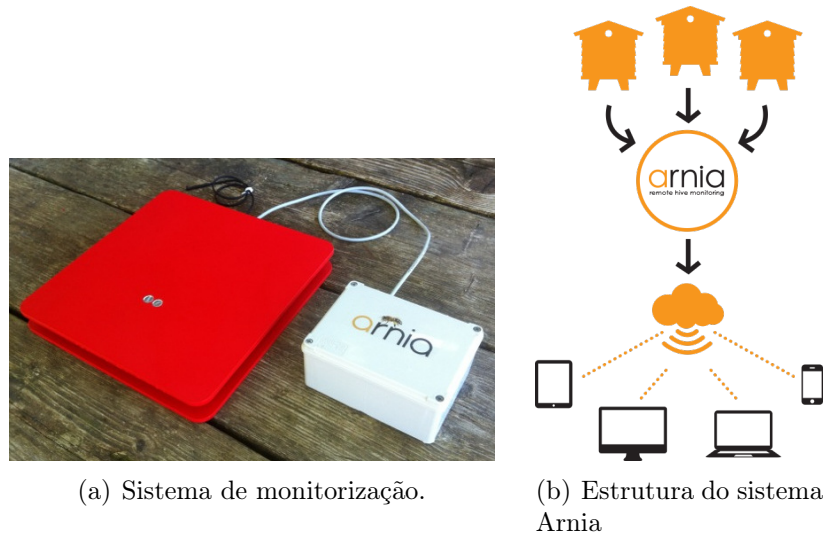


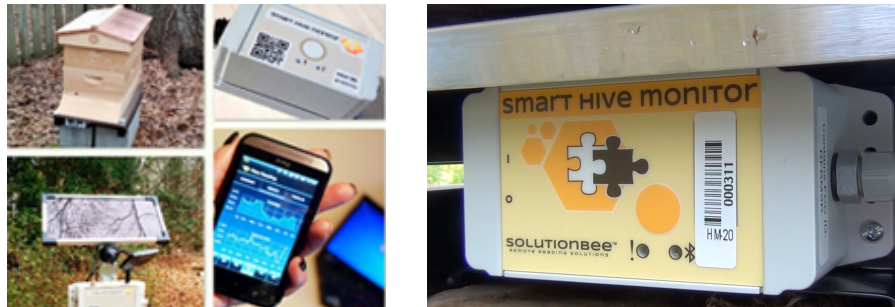
Figura 2.13: *Sistema Arnia*. [10]

As soluções apresentadas demonstram que os apicultores foram às suas necessidades e criaram as suas próprias soluções. Apresentam medições muito precisas ou seja medições no núcleo da colmeia, usam também a acústica nas suas soluções de interesse.

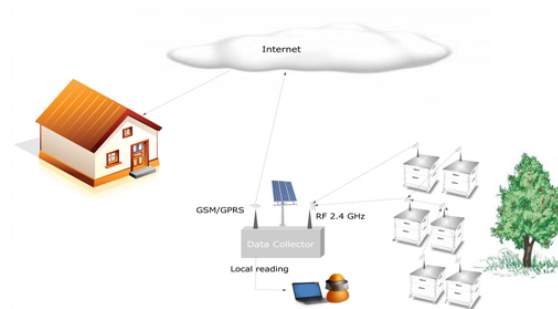
2.4.4 Solução *SolutionBee*.

A *SolutionBee* é uma empresa Americana de tecnologia, que aplicam tecnologia de comunicações no setor agrícola. Esta ferramenta de análise de dados, usa tecnologia amigável ao ambiente que permite ser usada pelos apicultores comerciais e apicultores amadores. O sistema de monitorização *Beehive B-ware* é o *B-ware* inteligente da *Hive Monitor* como pode ser visualizado na figura 2.14. O *Smart Hive Monitor* faz medidas de peso das colmeias e realiza leituras da temperatura a cada 15 minutos. Estas leituras são muito precisas e podem medir até ligeiras alterações no peso da colmeia. A estrutura do sistema pode ser visualizada na figura 2.15.

O *Monitor Hive* pode ser lido por um dispositivo portátil ou *smartphone*. Permite também a visualização remota pelo *B-ware™*. Este automatiza a leitura diária das medidas de peso e temperatura armazenadas no *Monitor Hive*. Os dados são passados para este sistema de dados duas vezes por dia. As mensagens de alarmes emitidas pelo sistema são passadas imediatamente para o *Data Collector*. Depois são lidos e enviados para a Internet, utilizando a via Wi-Fi ou através de uma ligação celular [25].

(a) Sistema de monitorização da *SolutionBee*.

(b) Aplicação na colmeia do sistema.

Figura 2.14: Sistema *SolutionBee*[11]Figura 2.15: Estrutura do sistema da *SolutionBee*. [12]

O tipo de soluções que a empresa apresenta demonstra que houve estudos e vários desenvolvimentos nesta área. Os seus produtos vão de encontro às necessidades dos apicultores e demonstram que apostam na tecnologia, havendo já a interligação às aplicações móveis.

2.4.5 Solução *iBeeCare*.

A *iBeeCare* é uma empresa portuguesa. Tem um sistema de monitorização automática que proporciona informação relevante e credível aos apicultores, em tempo real. O sistema de monitorização automático é baseado em telemetria proporcionando dados como temperatura, humidade, peso ou som, com o intuito de detetar os mais diversos problemas e ainda o roubo. A informação que é proveniente dos sensores é feita por Global System for Mobile communications (GSM) figura 2.16. Também fazem aconselhamento profissional, o que permite ajudar os apicultores a prevenir ameaças e agir em conformidade antes que haja perigo para as colmeias[26].



Figura 2.16: Sistema monitorização da *iBeeCare*[13].

Ao ver todos estes sistemas, o objetivo nesta dissertação é realização de um protótipo de um sistema em função dos sensores mais usados, sensor de temperatura/humidade e sistema anti-roubo. A ideia seria usar diversos tipos de sensores em toda a colmeia (temperatura, humidade, anti-roubo e medição do fluxo de abelhas). Com isto será possível acompanhar a atividade das abelhas ao longo do tempo. O projeto deveria ser autónomo e se possível usar um painel solar que aumentaria a autonomia do sistema. Com a comunicação rádio, conseguiremos enviar os dados obtidos para uma *Gateway* e posteriormente a possibilidade de visualizar em tempo real os valores através de um Web site.

Tabela de comparação de produtos

Na figura 2.17 podemos comparar os produtos que as várias empresas fornecem bem como o produto que é comercializado. Em geral verifica-se que as empresas fazem monitorização de temperatura/humidade, peso e têm um sistema de anti-roubo. Algumas marcam pelo seu tipo de serviços individuais tais como gabinetes de aconselhamento de produto.

A diferenciação de empresa para empresa é no tipo de sensores específicos tais como, sensores de gases, som, luz e pressão atmosférica. A mais valia destes sensores, é que permitem obter diferentes resultados de diferentes variáveis que permitem uma melhor compreensão do comportamento das abelhas das suas colmeias.

| Empresas | Microcontroladores | Tipo de Sensores | Tipo de Comunicações | Outros | Autonomia | Vantagens | Desvantagens | Custos € |
|--------------|-----------------------------|---|-----------------------------|--|--------------------------|---|--|------------|
| Hive Monitor | Arduino Uno (Atmega328) | 4 x (DS18B20) Temperatura, 3 x (DHT11) módulos Temperatura/Humidade | Wireless | Cartão de memória, LCD display, Relógio DS1302 | Bateria 12V 1 ano | Grande número de sensores | Só mede Temperatura e Humidade | Indefinido |
| SmartCitizen | Arduino Leonardo atmega32UA | Módulo de Temperatura/Humidade DHT22 Gás (CO2 E NO2), LDR, Som, Pressão atmosférica | Microchip RN-131 802.11 b/g | SCK iOS, Aplicações móveis, Cartão de memória, Relógio DS1339, Controlador de painel solar | Bateria 3.7V 2000mAh 22h | Medições de gases Luz ambiente, Pressão atmosférica do apiário, Mede a acústica da colmeia. | Caso de avaria ficamos sem kit desenvolvimento | 155,00 |
| Arnia | Indefinido | Som, Vibração, Temperatura/Humidade, Anti-roubo, Peso | Indefinido | Estação meteorológica, Base de dados web | Indefinido | Medição de vibração e som | Poucos sensores monitorização | Indefinido |
| SolutionBee | Indefinido | Temperatura/Humidade, Peso | Smartphone | Aplicações móveis, Painel solar, GPS, Base de dados Web | Indefinido | GPS Painel solar | Poucos sensores monitorização | Indefinido |
| iBeeCare | Indefinido | Temperatura/Humidade, Peso | Indefinido | Têm aconselhamento profissional, acompanhamento do produto | Indefinido | Fazem acompanhamento ao cliente | Poucos sensores monitorização | Indefinido |

Figura 2.17: Tabela de comparação de produtos.

Todos os produtos estão dependentes das necessidades de cada apicultor. Todos os produtos são interessantes, mas nem todos podem querer medir temperatura/humidade, peso do mel e querer sensores de movimento. Porém cada vez mais existe apicultores que são mais curiosos e querem saber mais das suas colmeias desde a pressão atmosférica, tipo de som que as abelhas fazem quando estão mais ativas ou mesmo os gases que podem existir dentro da colmeia. O apicultor moderno quer sempre saber mais e mais sobre os seus apiários.

2.5 Notas finais

Em suma existe uma preocupação global no desaparecimento misterioso das abelhas. Cada vez mais os apicultores têm tido um papel fundamental na investigação do desaparecimento das abelhas. Muitos produtos estão a surgir na área da apicultura. Os produtos que são comercializados não são uma solução, mas sim uma ferramenta de investigação. Tendo em atenção às variáveis mais comuns, tais como temperatura, humidade e peso que são as mais pretendidas pelos investigadores e apicultores para o sistemas de monitorização. Nota-se que não há interesse dos apicultores no fluxo de abelhas como forma a justificar as variações de população dentro da colmeia.

Capítulo 3

Projeto e montagem

"Às vezes perguntam-me porque invisto tanto tempo e dinheiro falando de amabilidade para com os animais quando existe tanta crueldade entre os Homens?"

Ao que respondo: Estou a trabalhar nas raízes."
George T. Angell

Como em qualquer criação, um projeto requer sempre tempo, imaginação e dedicação na sua elaboração. Para obter uma estrutura sólida que responda aos desafios propostos. As primeiras ideias sobre que tipo de materiais usar, que sensores, quais as variáveis mais procuradas pelos apicultores, estabeleceram o ponto de partida para o projeto. Dos produtos que já tinham sido visto e de todas as variáveis as que mais se repetiam eram a temperatura/humidade, peso, sistemas anti-roubo. As comunicações todas eram realizadas por sistemas sem fios, neste trabalho também teriam de ser realizadas por sistemas sem fios, para a posteriori serem visualizadas por um Web site. Neste trabalho optou-se escolher os sensores mais comuns, temperatura/humidade, sistema anti-roubo. Como forma de demarcar das soluções existentes, considerou-se o desenvolvimento de um sensor de fluxo de abelhas. Tendo em conta que o protótipo fosse o mais amigo do ambiente tanto possível.

3.1 Conceção de um sensor de fluxo de abelhas com Infravermelhos

Foram efetuadas algumas pesquisas sobre a morfologia e biologia das abelhas *Apis mellifera*¹. Antes de conceber o detetor de fluxo houve o cuidado de consultar com vários apicultores, qual seria o melhor método de implementar o sensor. Uma das primeiras ideias era obrigar as abelhas a passarem por um túnel e assim efetuar a

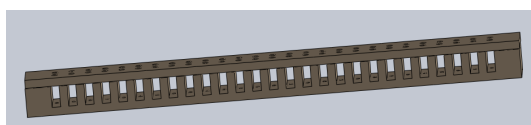
¹Também conhecida por abelha-alemã, abelhas grandes e escuras com poucas listras amarelas. Originárias do Norte de Europa e centro-oeste da Rússia, provavelmente estendendo-se até a Península Ibérica

contagem. Esse túnel teria de ser colocado à entrada da colmeia por cima da tábua de voo ou construir na própria colmeia esse mesmo túnel. Por fim durante todo este desenvolvimento foi surgindo vários esboços do sensor de detecção de fluxo, onde chegou-se a uma régua constituída por vários túneis figura 3.2. Esta régua é constituída por uma base e por uma tampa sendo ambas divididas em várias divisões por onde passam as abelhas, tendo sempre em atenção à morfologia das abelhas. Sabendo que as abelhas no estado adulto têm um comprimento que varia entre os $10mm$ a $13mm$, com uma largura de $10mm$ e com uma altura de $12mm$ [27]. Também foi levado em conta na construção do medidor de fluxo uma régua reguladora de entrada, figura 3.1 usada pelos apicultores na prevenção de ataques de insetos invasores nas colónias de abelhas.

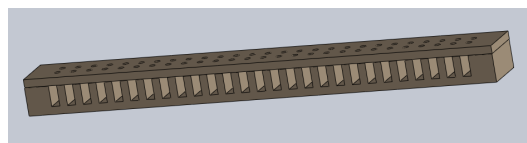


Figura 3.1: Régua reguladora de entrada de abelhas

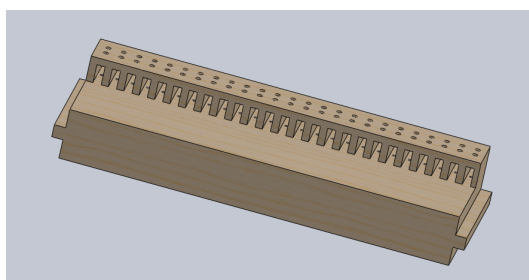
No desenho da figura 3.2 (c), verifica-se que este tipo de régua pode ser adaptável a vários tipos de colmeias. A régua tem um comprimento de $428.5mm$ e de largura de $44.5mm$



(a) Régua vista de frente.



(b) Régua vista na lateral.



(c) Régua para outro tipo de colmeia.

Figura 3.2: Desenhos da Régua de medição de fluxo.

A base da régua está dividida em 26 portas, separadas entre si por blocos de madeira conforme indicado na seguinte figura 3.3, cada divisão contém um recetor. A tampa está igualmente dividida em 26 portas, tendo por divisão dois emissores equidistantes, conforme se vê na figura.



(a) Tampa e Base da régua.



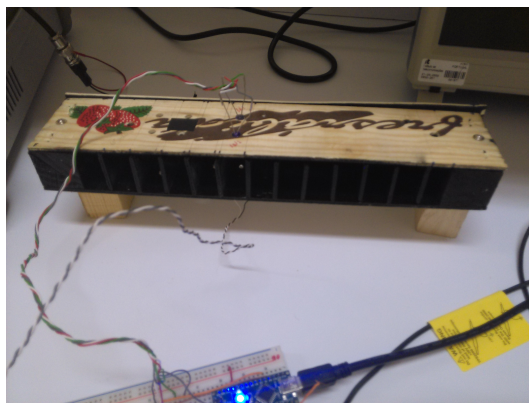
(b) Régua final.

Figura 3.3: Régua de medição de fluxo.

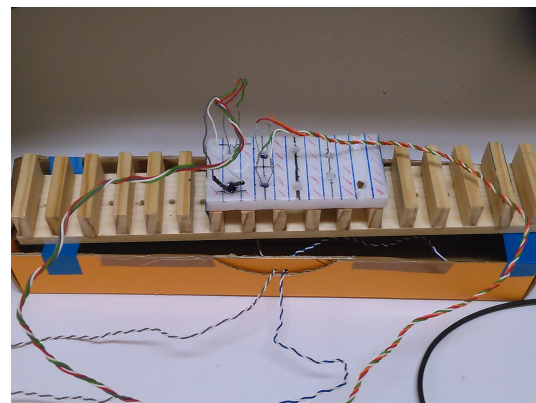
A estrutura vai alojar um conjunto de sensores que vão permitir desenvolver um sistema de monitorização com diversas aplicações, desde o sistema de medição de fluxo de abelhas, um sistema anti-roubo e por fim sensores de telemetria. Os primeiros passos consistiam na construção do protótipo para realizar os testes dos sensores de fluxo, sendo este tipo de controlo um dos mais importantes neste

projeto. No processo de construção verificou-se que a madeira era o mais indicado, mas iria causar problemas na colocação dos sensores de fluxo uma vez que a madeira não é por si só o material mais maneável. Nesta fase inicial do projeto optou-se por aumentar as dimensões da régua, para facilitar o manuseamento em ambiente laboratorial porque era complicado testar nesta fase num apiário.

Num primeiro protótipo de testes figura 3.4 (a) as suas dimensões foram exageradas, para possibilitar fazer testes com distâncias entres emissores e testar qual era a melhor solução ao número de sensores e recetores a usar.



(a) Primeira estrutura.



(b) Teste com Depron.

Figura 3.4: Os primeiros protótipos.

O tipo de material também foi essencial para chegar a um consenso, onde se testou com *depron*,² figura 3.4 (b) mas por fim decidimos que o melhor seria a madeira por ser também um material natural.

No segundo protótipo, figura 3.5 houve relevantes alterações na régua, quanto ao tamanho das portas que já contém as dimensões da morfologia das abelhas. Ao número de emissores e recetores por porta a usar, ao ângulo e comprimento total da régua.

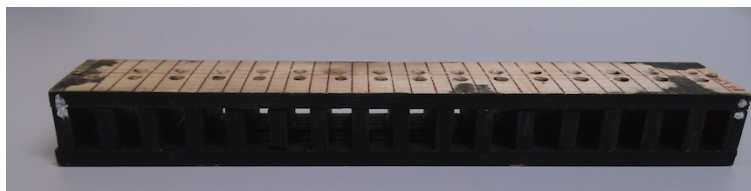


Figura 3.5: Segundo protótipo.

Com os sensores temperatura/humidade instalados no interior da colmeia, tem-se que ter o cuidado de poder haver a rejeição das abelhas a um elemento estranho

²Também conhecido por placa de Pluma, utilizado na fabricação de maquetes, aeromodelismo.

no seu habitat. Quando estas detetam algo que não seja do seu ambiente têm o hábito de colocar própolis³ em redor aos elementos estranhos do seu habitat.

Quando ao sistema de anti-roubo o sensor Tilt serve para detetar um desnivelamento, ou deslocação da colmeia por algum motivo, sejam estes ambientais ou humanos. Este tipo de sensor poderá ser instalado dentro ou fora da colmeia, ou até mesmo podendo ficar instalado na própria estrutura do sistema de proteção da régua de fluxo.

A informação proveniente dos sensores vai ser enviada para uma *Gateway*⁴ ou dispositivo, onde pode ser visualizados a partir de um computador que esteja ligado à Internet. Consiste em visualizar as informações provenientes do apiário, colmeia para um computador que esteja ligada à Web.

3.2 Descrição do Esquema/Circuito

Para uma melhor compreensão da interação entre os vários blocos do sistema que foi elaborado. Foi necessário dividi-lo em 4 grandes blocos, tal como se pode verificar na figura 3.6.

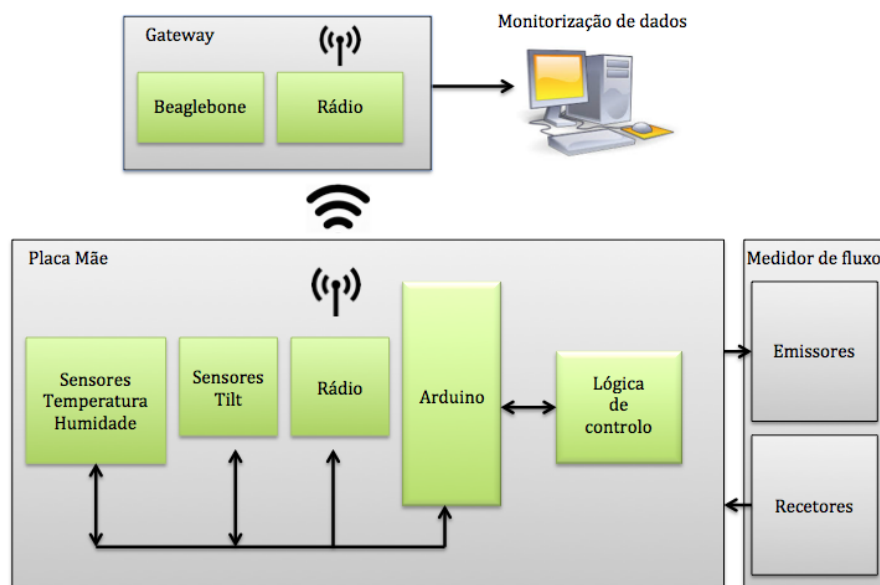


Figura 3.6: Diagrama de Blocos do Sistema.

O diagrama de blocos 3.6 está dividido em: placa mãe, emissores, recetores e *Gateway*. Por sua vez a placa mãe encontra-se sub-dividida em 5 sub-blocos: A

³A própolis é uma substância produzida pelas abelhas e formada por ceras e resinas, substância é misturada com o pólen pode ser utilizada como antibiótico.

⁴Uma máquina destinada a interligar redes, ou mesmo traduzir protocolos, exemplos routers e firewalls.

lógica de controlo, processamento de dados, sensores de temperatura/humidade, sensores anti-roubo e comunicações via rádio. O bloco *Gateway* é constituído por dois sub-blocos, o rádio que recebe dados enviados da placa mãe e um microprocessador *Beaglebone Black* (BBB).

Por fim o bloco emissores/recetores representa a estrutura de detecção das abelhas por meio ótico, que consiste num conjunto de Light-Emitting Diode (LED) Infrared (IR) emissores e os respetivos fototransistores de receção.

A área da agricultura possibilita cada vez mais atividades que realizam e requerem um controle preciso sobre as suas produções. Para satisfazer essas necessidades necessitam de agilidade na captação de informação, devido à grande exigência dos mercados atuais. Tendo a telemetria para transmitir parâmetros necessários à tomada de decisões numa plantação, tais como a temperatura, a humidade, a radiação solar, a velocidade do vento e de sensores de humidade do solo.

No âmbito deste trabalho as variáveis que oferecem interesse em analisar são do tipo, temperatura/humidade do núcleo da colónia. Pretendendo encaminhar essa informação ao apicultor é usado um sensor digital de baixo custo *AM2302* figura 3.7, este sensor usa um sensor capacitivo de humidade e um termistor para medir a temperatura do ar circundante. Por sua vez, envia um sinal digital no pino de dados, contudo requer algum tempo para obter os primeiros dados provenientes do sensor sendo esta a desvantagem deste sensor.

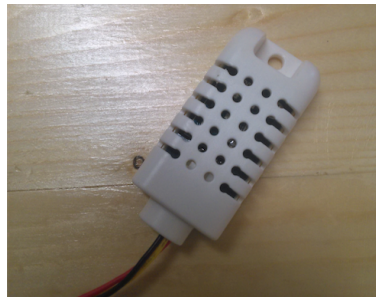


Figura 3.7: Sensor Temperatura/Humidade.

Devido a haver uma fortíssima procura de produtos relacionados com a apicultura houve o cuidado de elaborar um sistema de intrusão de colmeias. A monitorização de potenciais pontos de intrusão numa colmeia que comunique com o Arduino, transmitindo sinal de alarme ao detetar a intrusão ilegal, que é o conceito básico da teoria de um sistema de alarme. Normalmente os sensores são instalados em portas e janelas que se expõem a invasões potenciais ou lugares facilmente acessíveis para formar a proteção do perímetro invisível. Uma vez que os apiários estão em locais inacessíveis e no exterior não vamos ter nem janelas nem portas. Neste caso os sensores de movimento são instalados no interior da colmeia para proteção da mesma.

A escolha foi para um sensor que correspondesse às nossas necessidades, assim sendo optou-se por um sensor que detete a orientação ou a inclinação de um

ângulo. Sendo este um sensor pequeno, com baixo consumo, de simples utilização e completamente hermético. A solução para por um sensor de Tilt como se representa na figura 3.8.

Este tipo de sensor, na posição normal de funcionamento do dispositivo tem um tempo de vida de 10.0000 ciclos. A detecção de inclinação com ângulos superiores a $+10^\circ$ consiste do feixe de um circuito condutor. Ao que origina o envio de uma resposta do Tilt positivo. Também se usa uma resistência de *pull-up*⁵ que ligamos ao sensor, e a um pino de entrada digital.

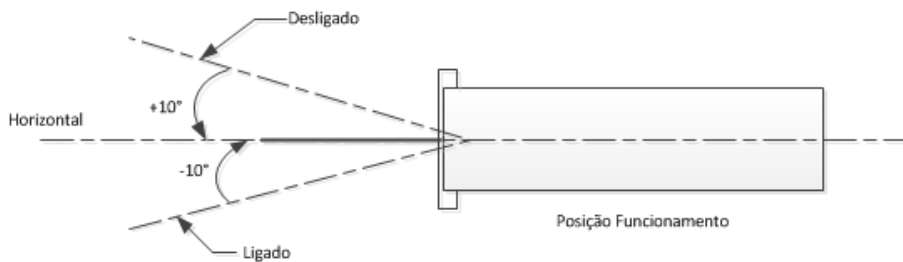


Figura 3.8: Sensor Tilt.

3.2.1 Placa Mãe

A principal função da placa mãe é efetuar a gestão de uma colmeia. Esta gestão é feita através do conhecimento do fluxo de abelhas, das variáveis meteorológicas e da comunicação destes dados para o exterior.

O princípio de funcionamento baseia-se num microcontrolador que por sua vez necessita de hardware para interagir com os restantes sub-blocos (lógica de controlo).

O aumento da capacidade de integração, permitiu aos fabricantes a inserção, num único circuito integrado, dos diferentes componentes que implementam um microcomputador. Assim, hoje em dia é possível encontrar uma infinidade de microcontroladores. Estes componentes são como o processador do nosso computador, porém não precisam de memória externa e nem armazenamento para o programa. Um microcontrolador já possui internamente memória para o programa, memória Random Access Memory (RAM) para os dados, e uma unidade de processamento, porém obviamente possuem um desempenho muito inferior a um processador.

O Arduino é apenas uma plataforma de desenvolvimento que utiliza os microcontroladores Atmega da *ATMEL*. Neste projeto utilizamos o Arduino Nano, escolhido devido às suas pequenas dimensões e ao número de portas. Sendo possível de ligar dispositivos *RF* para realizar a comunicação com o *Gateway*.

A alimentação é feita através da ligação Universal Serial Bus (USB), mini-USB ou 3.3V e 5V. Também pode ser alimentado por uma fonte de alimentação externa,

⁵A função básica de uma resistência de *pull-up* é para garantir que nenhum dado de entrada de um circuito assuma um valor padrão

quando não está conectado por USB. A memória do ATmega328 tem 32KB. O Atmega 328 possui 14 pinos digitais, dos quais no nano podem ser utilizados como entrada ou saída, ambos operam com 5V, cada pino pode fornecer ou receber uma corrente máxima de 40mA.

No que refere às comunicações os pinos Receiver (RX) e Transmitter (TX), são usados para receção e transmissão de dados. O microcontrolador tem interrupções externas, os pinos 2 e 3, estes pinos podem ser configurados para enviar interrupções. Possui ainda proporciona alguns pinos que geram o Pulse-Width Modulation (PWM). A comunicação Serie Peripheral Interface (SPI), que, embora seja fornecida pelo hardware subjacente, não está incluída na linguagem Arduino. Estas bibliotecas são externas, e têm de ser configuradas. O Nano tem 8 entradas analógicas, por defeito elas medem de 0V até 5V. No que diz respeito às comunicações o Arduino Nano tem uma série de facilidades para comunicar com computadores, Arduinos e microcontroladores. A biblioteca série permite ainda configura comunicação série em qualquer um dos pinos digitais do Nano.[28]

Devido à limitação do número de portos do Arduino projetou-se um sub-bloco de lógica de controlo. Este serve para controlar os dispositivos emissores e os receptores. Assim será feito uma multiplexagem no domínio do tempo, que corresponde a uma divisão no tempo, para cada túnel da régua. Com este procedimento é possível processar individualmente cada entrada e saída, no túnel correspondente. Este processo é realizado através da deteção do fototransistor da interrupção ou não do sinal proveniente dos emissores, que será enviado ao Arduino e neste processado como entrada ou saída.

Os sensores de temperatura e humidade (T/H), *Tilt* e anti-roubo estão instalados dentro e fora da colmeia. Os sensores de Temperature and Humidity (T/H) estão instalados dentro da colmeia mais propriamente no ninho da colónia, o sensor anti-roubo está instalado dentro da estrutura de proteção da colmeia. Estes tipos de sensores vão permitir medir e detetar variáveis, que depois são enviados ao Arduino.

O sub-bloco Arduino, microcontrolador tem como função gerir toda informação recebida do sistema, organizar essa informação e comunicar com o sub-bloco rádio.

O rádio destina-se a estabelecer a comunicação entre o *Gateway* e o Arduino. A forma como os dados serão enviados em forma de pacote, que pode apresentar vários tipo de informação. Sendo que os pacotes correspondem ao envio de informação de temperatura e humidade, assim como deteção de movimento, o número de entradas por túnel e as respetivas saídas. O envio deste tipo de informação oferece uma mais valia ao apicultor em termos de monitorização.

A medição geral, que consiste em medir o fluxo de abelhas que entraram e saíram da colmeia, num determinado espaço de tempo. Este tipo de medição permite inferir sobre o comportamento do enxame em condições como a temperatura, humidade e a estação do ano. A medição individual de cada túnel permite verificar qual a tendência de entrada e saída das abelhas na colmeia. Isto porque cada túnel se encontrada devidamente identificado o que permite tirar ilações sobre a preferência de entrada e saída.

Circuito Emissão

O circuito de emissão foi construído em duas placas, devido às especificações da régua de acesso e também para possibilitar um melhor acesso aos emissores infravermelhos e fototransistores. A radiação infravermelha IR é simplesmente um dos muitos tipos de "luz" que compõem o espectro eletromagnético. A luz infravermelha é caracterizada por comprimentos de onda que são mais longas do que a luz visível⁶. No nosso cotidiano estamos imersos de radiação infravermelha que se faz sentir como calor. Dado que os IR são inofensivos às abelhas utilizou-se sensores de IR para a sua detecção. As abelhas não detetam a radiação infravermelha. Optou-se por este tipo de sensores por não serem ofensivos às abelhas uma vez que as abelhas são mais sensíveis ao ultra-violeta [29]. O LED infravermelho é um tipo de dispositivo eletrônico que emite luz infravermelha não visível, como um díodo emissor de luz normal. Os IR são conhecidos pela sua aplicação em dispositivos de controle remoto e na transferência de dados entre dispositivos. Ao começar a projetar o circuito de emissão houve um estudo como efetuar a melhor instalação dos dispositivos IR.

Verificou-se que ao colocar os emissores com um ângulo de 2° ou 3° em relação ao suporte a detecção o desempenho melhorava. Estes ângulos foram obtidos por método experimental até se conseguir obter um resultado aceitável, figura 3.9.

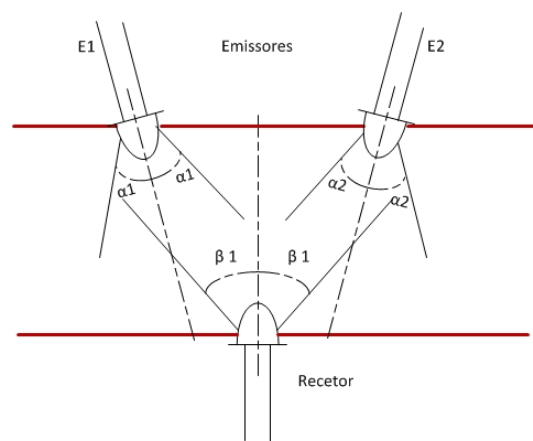


Figura 3.9: Testes de ângulos e distâncias entre emissores.

⁶4000-7000 Angstroms, ou $0,4\ 0,7\mu$, também designadas por microns

Quando a abelha efetua uma passagem pela porta vai interromper o feixe infravermelho E_1 (emissor 1) e tem de percorrer uma distância entre os emissores. Essa distância que tem de ser maior que o comprimento da abelha, ou seja entre $12mm$ a $20mm$ [27]. O simples facto de a distância ser menor que o comprimento da abelha, levaria a um erro de deteção dos sensores. Assim sendo os sensores estão separados de $15mm$ um do outro. Um dos casos que pode surgir é o de duas abelhas em fila induziam a deteção de uma única abelha. O sensor seria interrompido nos dois feixes ao mesmo tempo. Assim um comprimento maior do que o corpo de uma abelha, permitir distinguir as duas leituras no recetor, ou seja, saber qual dos emissores foi interrompido o E_1 ou E_2 figura 3.10. Permitindo assim saber se a abelha efetuou uma entrada ou saída dependendo do sentido.

Na figura 3.10 permite visualizar o que foi descrito anteriormente, podemos observar a colocação dos emissores, os ângulos e a distância entre os emissores.

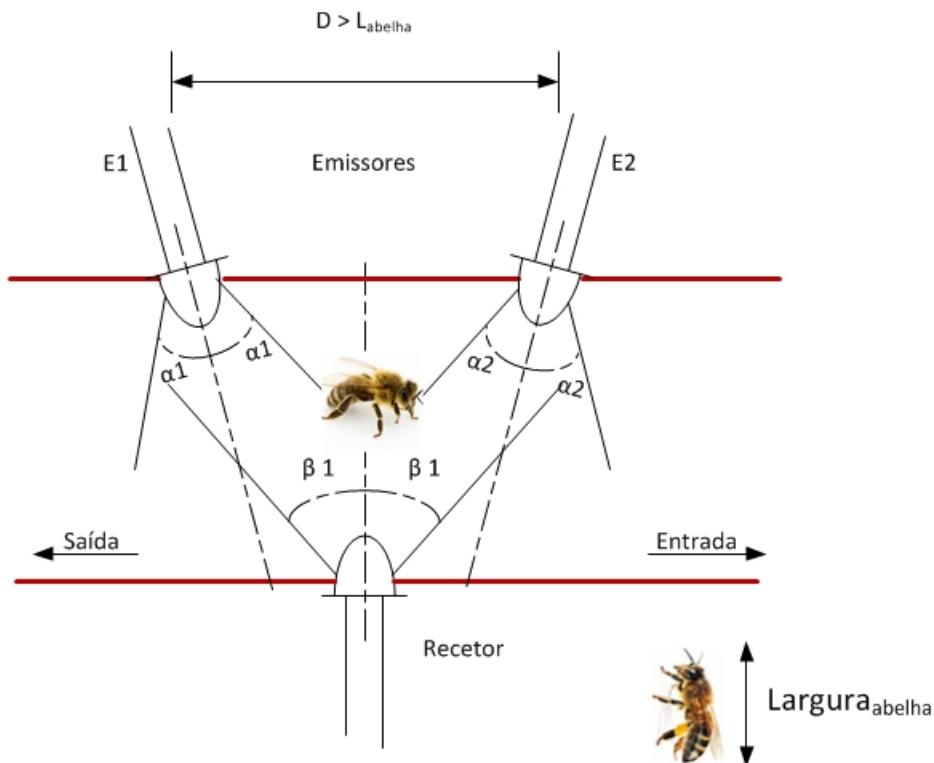
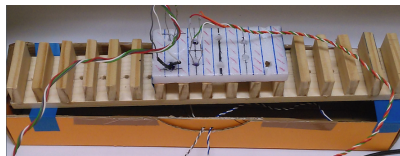


Figura 3.10: Restrição do ângulo de abertura dos emissores e ângulo de campo de visão mínimo do recetor.

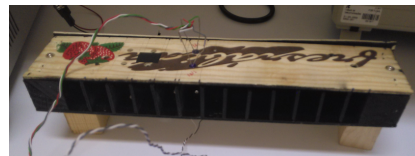
A partir do estudo e da análise da figura 3.10 fizeram-se alguns testes na régua de acesso do sistema em relação ao número de emissores/recetores por porta, as várias distâncias que eram possíveis nos dispositivos IR. Bem como a colocação dos recetores como se mostra na figura 3.11.

Na figura 3.11 (c) dá para observar que houve um estudo na disposição dos emissores, as opções foram desde a 2 emissores a 1 emissor. Na figura 3.11 (d) houve também uma preocupação no estudo dos recetores semelhante aos emissores, tendo como opção de 2 recetores a 1 recetor. Perante estas opções adotou-se utilizar 2 emissores e 1 recetor, devido à quantidade da totalidade da régua e aos consumos.

O dispositivo de emissão *OP293* tem maior campo de visão do que o anterior. O ângulo de visão é de 60° , com um comprimento de onda de $890nm$. A partir da corrente de polarização dos emissores de $15mA$ e com uma tensão de alimentação de $5V$, obteve-se uma resistência de polarização de 330Ω . Por fim optou-se por este emissor porque o campo de visão era superior e o recetores detetavam mais eficazmente do que os anteriores.



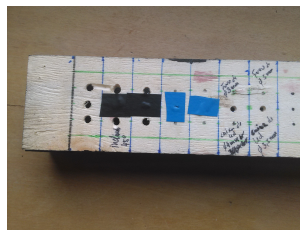
(a) Régua Emissores.



(b) Régua Emissores.



(c) Régua Emissores.



(d) Régua Recetores.

Figura 3.11: Régua de testes dos dispositivos.

Em relação aos dispositivos emissores e recetores estes estão conectados aos portos dos *multiplexer*. Portanto vamos ter 13 emissores por cada *multiplexer*. Na figura 3.12 está o esquema do circuito de emissão, juntamente no anexo E.1 está o layout da placa do circuito impresso. No anexo D.1 estão os emissores montados no respetivo circuito impresso.

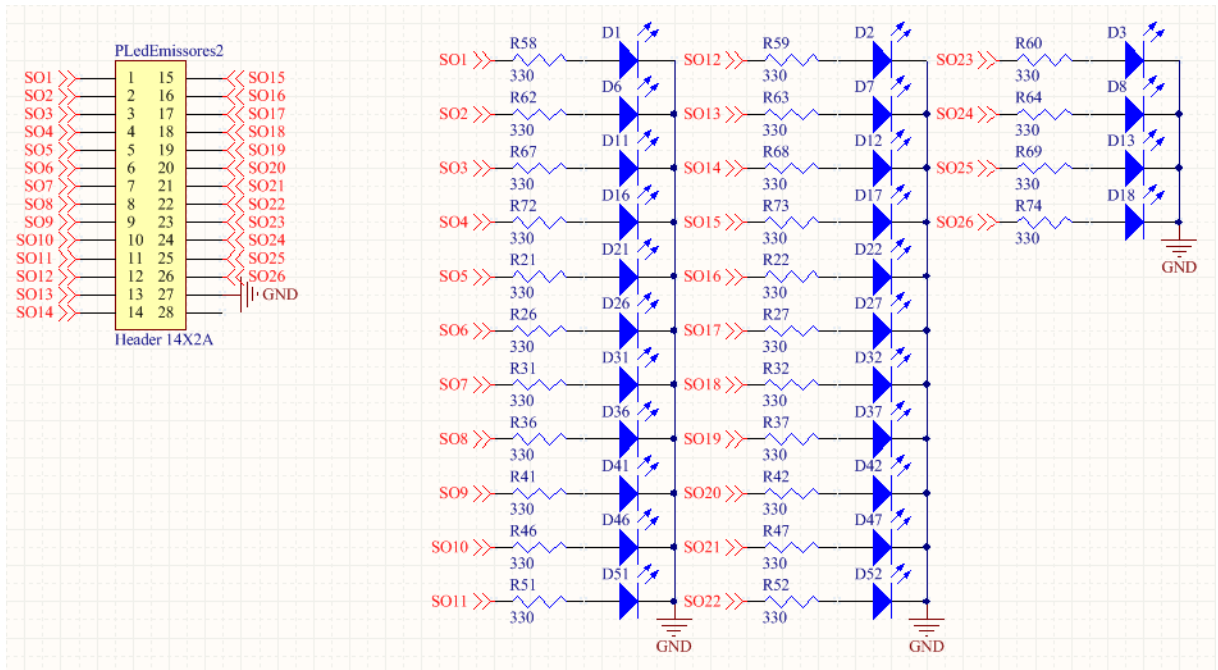


Figura 3.12: Sistema de emissão.

Circuito Receção

O circuito de receção foi construido a partir de dispositivos de fotodeteção. Este tipo de sensores permitem detetar uma ação por meio da luz que depois convertem em corrente elétrica. Temos alguns exemplos de dispositivos de fotodeteção tais como os fotodiodos e fototransistores.

Os fotodiodos podem ser usados tanto no modo fotocondutivo como fotovoltaico. O princípio de funcionamento é simples de se entender. Quando a luz incide numa junção semicondutora, são gerados portadores que por ação de campo elétrico formam uma corrente. Nestas condições temos a manifestação de dois fenómenos que podem ser utilizados na prática. Num deles a resistência da junção diminui, no outro aparece uma tensão no dispositivo. Se o sensor aproveitar a variação da resistência, dizemos que opera no modo fotocondutivo. Se aproveitar a tensão gerada com a luz, dizemos que opera no modo fotovoltaico.

Na figura 3.13 temos o símbolo destes sensores que também podem ser usados em conjunto com elementos emissores de luz.

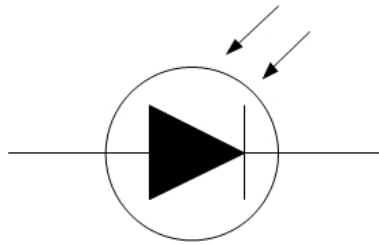
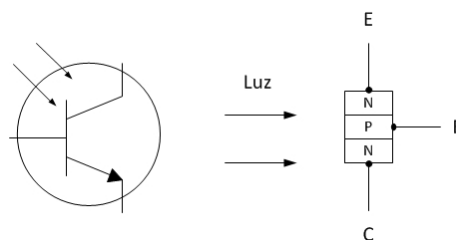


Figura 3.13: Símbolo do fotodiodo.

Uma característica importante dos fotodiodos, é a sua velocidade de resposta muito alta que permite detetar pulsos rápidos de luz podendo alcançar frequências muito elevadas. Por este motivo podemos ver este tipo de sensores em leitores de DVDs e CDs.

O circuito de receção vai permitir receber o feixe de luz infravermelha proveniente dos emissores. Os fototransistores, figura 3.14, são dispositivos que funcionam baseados no fenómeno da fotocondutividade. Podem, ao mesmo tempo, detetar a incidência de luz e fornecer ganho dentro de um único componente. Como o transistor convencional, o fototransistor é uma combinação de dois díodos de junção, porém, associado ao efeito transistor aparece o efeito fotoelétrico. Em geral, possui apenas dois terminais acessíveis, o coletor e o emissor, sendo a base incluída apenas para eventual polarização ou controle elétrico.



(a) Camadas do fototransistor.

Figura 3.14: Fototransistor.

O fototransistor nada mais é do que um transistor bipolar comum com as suas junções semicondutoras. Porém com uma janela ou abertura no invólucro, de modo a facilitar a entrada de luz sobre a pastilha de silício. A luz vai agir sobre as junções internas do transistor, exatamente como se fosse uma corrente de base, incrementando a condução entre o coletor e o emissor na razão direta da intensidade da luz. Porém no seu percurso coletor/emissor, um fototransistor mantido na escuridão é como um transistor bipolar comum não polarizado. Por outro lado, o fototransistor sob luz forte age como um transistor comum, com a base fortemente polarizada. Para além do processo de geração de portadores de carga elétrica

através da incidência de luz, no fototransistor aproveitam-se as propriedades de amplificação de um transistor. Assim, os fototransistores apresentam uma grande sensibilidade em comparação com os fotodíodos.

Optou-se pelos fototransistores *BPW85*, porque possuem um maior ângulo de visão. Tendo um ângulo de 25° . Em termos de correntes, possuem uma corrente máxima até $50mA$.

No circuito de receção, os 26 coletores dos fototransistores são ligados aos 2 *desmultiplexers*, estes por sua vez estão ligados ao microcontrolador.

Os 26 emissores dos fotos recetores ficam conectados ao amplificador *TLV2774*. O *TLV2774* é dispositivo que contém 4 amplificadores que servem para amplificar o sinal proveniente dos dispositivos de receção. No entanto é necessário uma tensão suficiente para ativar as portas do Arduino. As portas digitais do Arduino só detetam o nível alto quando recebem uma tensão superior a $3V$, já tensões inferiores desse patamar são considerados lógicos. [30]

A tensão de referência que é dada pelo divisor resistivo R_3 com R_4 garante que o fototransistor se encontra no modo fotocondutivo.

O amplificador de transimpedância converte corrente do fototransistor em tensão, figura 3.15. A sua função de transferência ideal é dada pela equação 3.1. Onde o ganho do amplificador de transimpedância é definido pela resistência R_f . Para obter uma tensão superior a $3.4V$ (tensão de referência, ou offset) a partir de uma corrente de coletor com luz de $0.8mA$ foi definido um ganho de 5600, o que corresponde ao valor de resistência R_f .

$$V_o = -R_f I_Q \quad (3.1)$$

A passagem de uma abelha consiste numa redução da luminosidade por parte dos emissores infravermelhos, mas para sejam corretamente detetados é necessário definir uma gama de luminosidade e por conseguinte um limite de corrente. Daí se ter definido uma tensão de referência no amplificador de transimpedância de modo que à mínima redução de luminosidade se gere um sinal de tensão igual a zero (configuração inversora). Após análise do comportamento do fototransistor a tensão de referência foi fixada em $3.4V$. A resistência R_F permite fazer a realimentação negativa e a resistência R_1 vai polarizar o fototransistor. A solução escolhida para aumentar a corrente proveniente dos dispositivos de receção foi, a utilização de um amplificador em configuração de transimpedância, como é representada na figura 3.15, dito acima. Uma das grandes vantagens do amplificador de transimpedância é o fato de possuir uma impedância de entrada relativamente baixa, que possibilita o uso de resistências de polarização valor elevado sem prejudicar a estabilidade do amplificador.

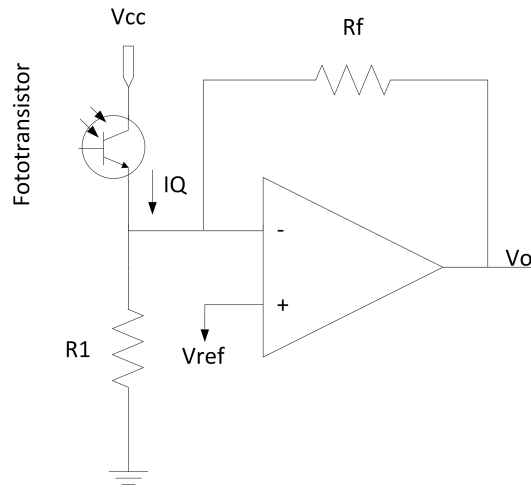


Figura 3.15: Amplificador ótico de transimpedância.

A equação 3.2 permite calcular a resistência R_1 . Sendo a corrente do fototransistor dada pelo fabricante, sendo esta de $0.5mA$. A tensão de referência de $3.4V$ obteve-se R_1 de $6.8K\Omega$.

$$R_1 = \frac{V_{ref}}{I_Q} \quad (3.2)$$

Para o cálculo das resistências R_3 e R_4 da figura 3.16 foi usada a equação 3.3 do divisor resistivo calculou-se as resistências R_3 e R_4 , para obter uma tensão de referência de $3.4V$, sendo esta tensão necessária para colocar o fototransistor na zona ativa.

$$V_{ref} = V_{cc} \frac{R_4}{R_4 + R_3} \quad (3.3)$$

Depois dos cálculos efetuados chegou-se à resistência R_4 tem o valor de $22k\Omega$ para uma resistência R_3 de valor $10K\Omega$.

O segundo andar corresponde ao amplificador operacional na configuração comparador, na figura 3.16. A tensão de referência representada por V_{ref2} tem como função comparar o valor recebido do amplificador de transimpedância. Se o valor for inferior a $2.5V$ coloca a $0V$ à entrada o pino digital do Arduino, caso contrário coloco nos $5V$. O amplificador operacional na configuração comparador, figura 3.16 que compara duas tensões de entrada.

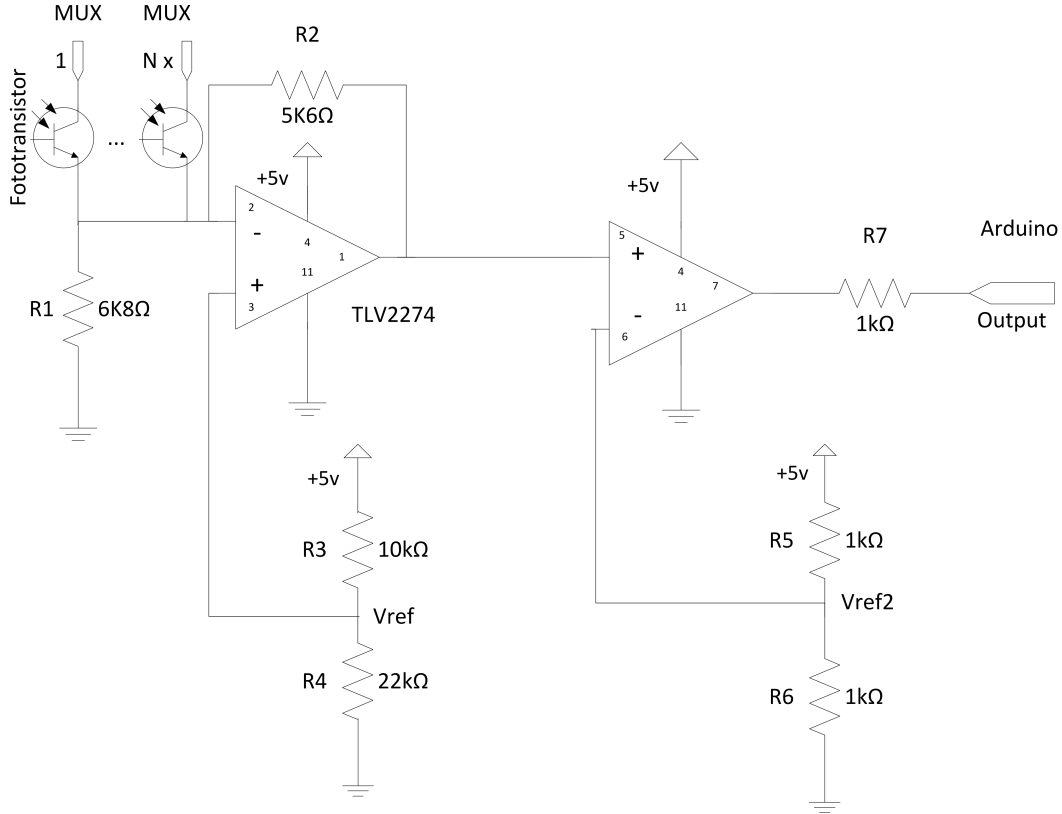


Figura 3.16: Amplificação dos dispositivos de recepção.

Se na entrada não inversora for maior que a entrada inversora, o amplificador vai ter à saída a tensão de alimentação do amplificador. Caso a tensão na entrada não inversora for menor que da tensão inversora a tensão de saída vai ser zero. Neste caso a tensão de referência é determinada pelo divisor resistivo R_5 com R_6 que será comparada com a tensão proveniente da saída do amplificado de transimpedância. A equação 3.4 do divisor resistivo permite calcular as resistências R_5 e R_6 .

$$V_{ref2} = V_{cc} \frac{R_6}{R_6 + R_5} \quad (3.4)$$

O valor das resistências para uma tensão de referência de $2.5V$, é de $1K\Omega$. Na figura 3.17 está o circuito de recepção, a placa de circuito impresso é apresentado no anexo G.1.

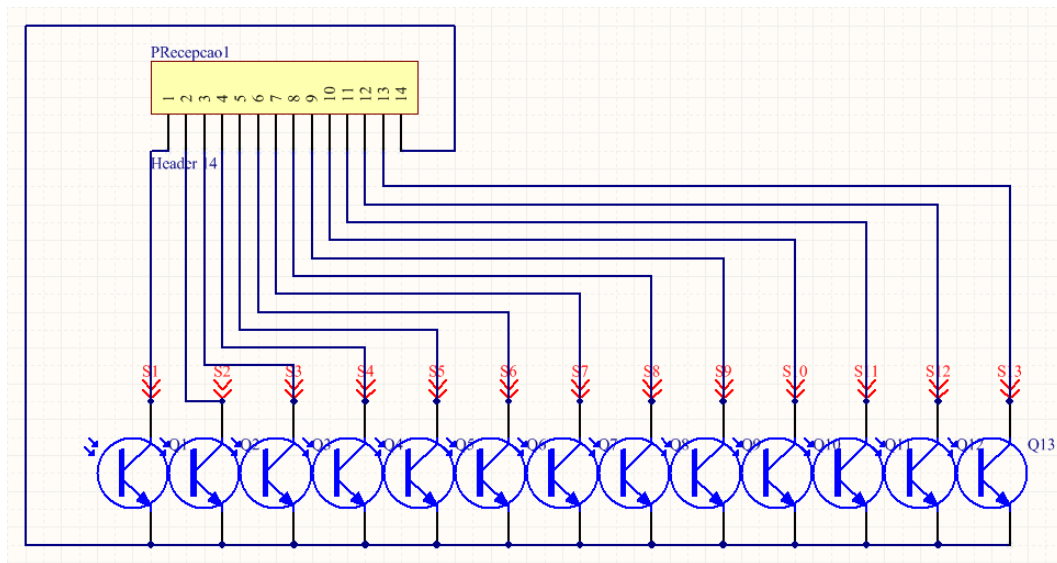


Figura 3.17: Esquemático do circuito de recepção.

Lógica de controlo

No contexto do trabalho atual, usou-se os *multiplexers* para dividir o tempo de leitura e escrita por cada segmento da régua. A lógica de controlo encontra-se subdividida em dois blocos, um destinado à parte de controlo de emissão e outro à parte de recepção.

A parte que controla a ativação da placa de emissores composta por 4 *multiplexer*. Este estão agrupados em grupo de 2 que corresponde ao controlo independente dos emissores correspondente frente e trás. Este são ativados de forma independente já que possuem *enables* independentes. Estes são identificados como *ENfrente* e *ENtrás*. Isto porque como é feito o tratamento de dados túnel a túnel fez-se corresponder à mesma palavra de seleção, representada por Sel0 a Sel3 a mesma saída correspondente ao emissor frente e emissor trás representados respetivamente de F0 a F25 e T0 a T25.

Além desta divisão frente e trás os dois restantes controlam independentemente e ao mesmo tempo duas placas de emissão. De índice 0 a índice 12 e de índice 13 a índice 25, figura 3.18.

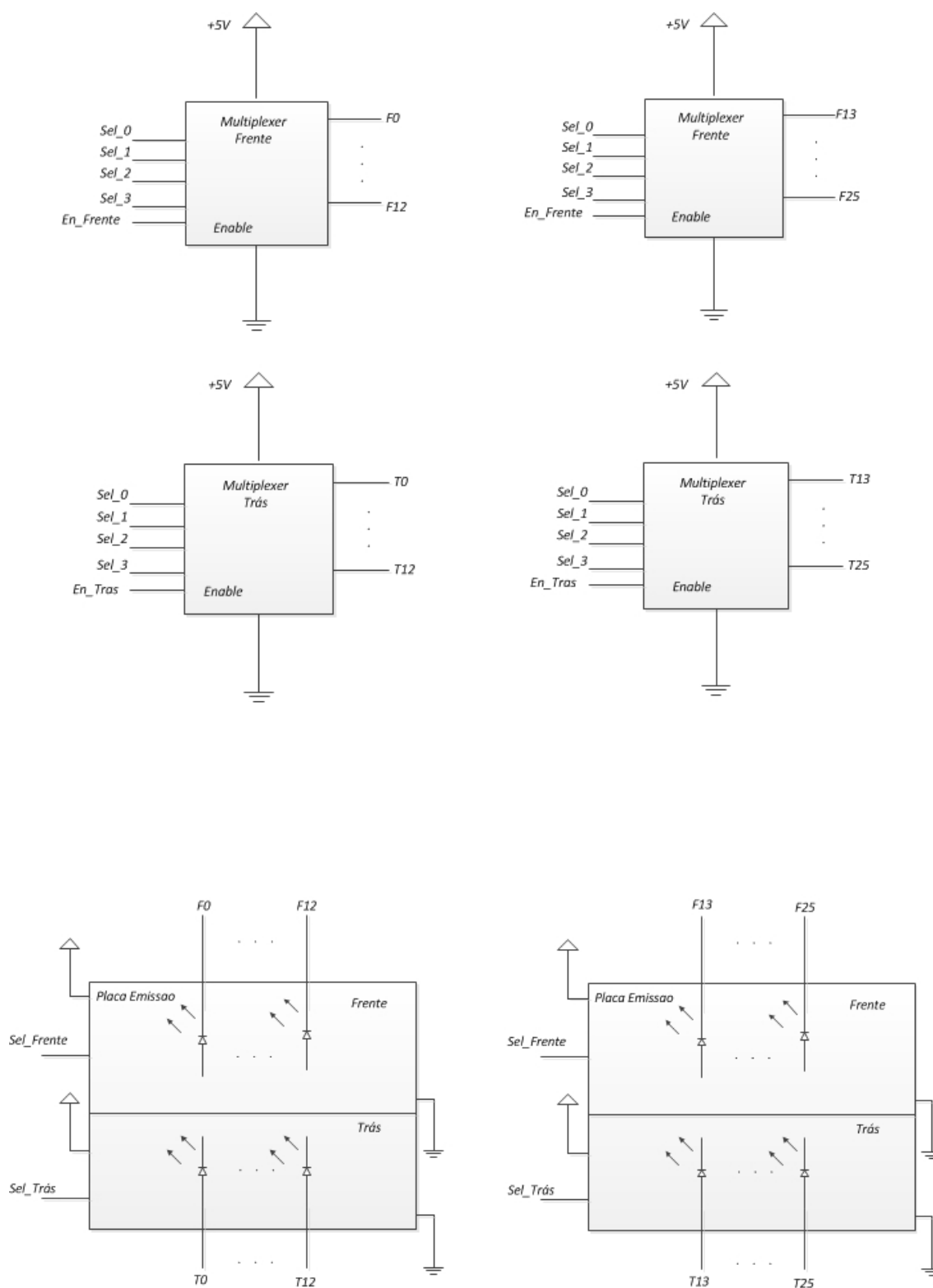


Figura 3.18: Lógica de controlo de emissão.

Quanto à lógica de controlo da parte de receção é constituída por 2 *desmultiplexer* estes encontram-se ligados às mesmas portas de seleção da parte de emissão, estes correspondem a Sel 0 a Sel 3. Estes 2 *desmultiplexer* recebem sinal independente de cada placa de emissão, que corresponde aos sinais provenientes de índice 0 a índice 12 e índice 13 a índice 25. Os *enables* encontram-se de forma ao *desmultiplexer* estar sempre ligado. O sinal de saída correspondente a cada *desmultiplexer* denominado saída 0 a 12 e saída 13 a 25 será processado independentemente no Arduino, figura 3.19.

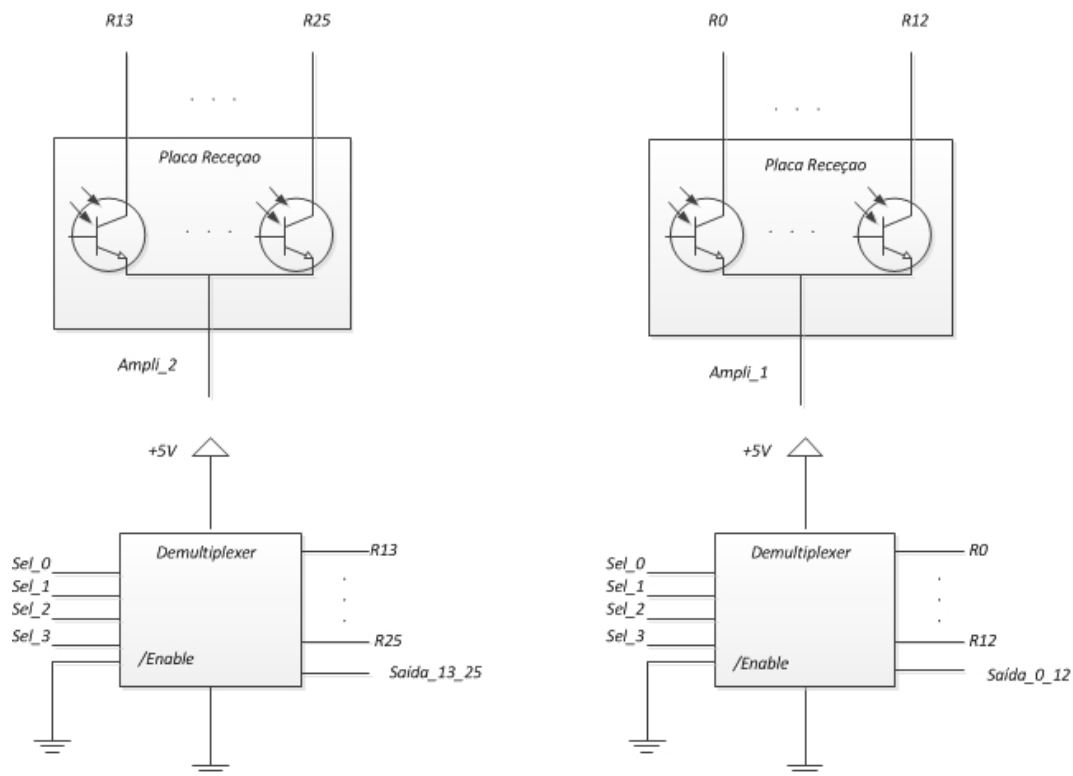


Figura 3.19: Lógica de controlo Desmultiplexeres .

Um exemplo da aplicação deste mecanismo é apresentado na figura 3.20. Quando é ativo o emissor 1 da placa de entrada esquerda também é ativo o emissor da 1 da placa entrada direita e o fototransistor da placa dos fototransistores direita e esquerda. No instante seguinte os emissores de trás ficam ativos e os da frente ficam inativos. Este mecanismo é replicado pela ordem que está na figura 3.20 até ao último emissor da régua.

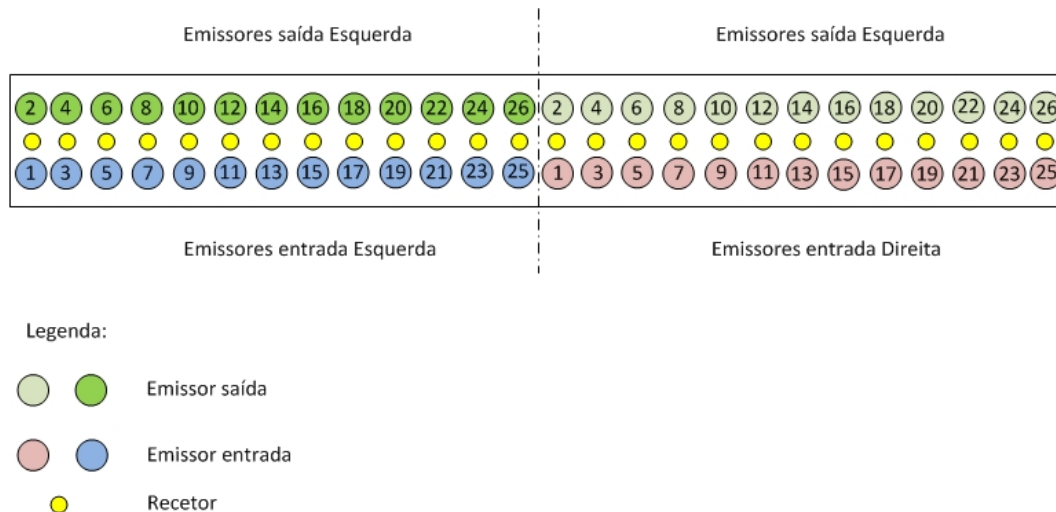


Figura 3.20: Sequência dos emissores.

3.2.2 Gateway

A *Gateway* é instalada fora do apiário porque a função é receber dados enviados pela placa mãe e enviar para um repositório Web. O BBB tem como função processar dos dados recebidos do rádio e enviar os mesmos para um unidade central. Essa unidade central não é nada mais do que um computador, que pode estar afastado do local do apiário. Basta apenas estar ligado à internet para aceder às informações provenientes das colmeias. Este meio verifica-se útil, devido ao facto de as localizações dos apiários ficarem em locais remotos ou mesmo em locais de grande florestação. Assim elimina-se a necessidade do apicultor estar sempre a deslocar-se ao apiário, sempre que queira recolher informações provenientes das colmeias. Todos estes fatores eram mais do que motivos em usar comunicações e transmissão sem fios. Nas subsecções seguintes descrever-se, o modo de funcionamento de algumas plataformas. Que permite testar algumas aplicações de teste entre as plataformas de desenvolvimento. Estes testes são entre Arduinos a comunicar entre si, mas também a comunicar com a plataforma de desenvolvimento BBB. A transmissão é feita por rádio devido à sua versatilidade, às suas dimensões e consumos. Na transmissão a troca de informação de dados entre o microcontrolador e o BBB é feita através de um módulo rádio na frequência $2.4GHz$ com o chip *NRF24L01* fabricado pela *Nordic*, juntamente com uma antena externa. Este

rádio é um dos mais usados e compacto do mercado, usado em comunicações entre microcontroladores, controlo remoto, e outras aplicações de sistemas embutidos.

Uma das características é o seu baixo consumo de energia e uma taxa de transmissão, que pode chegar a *2Mbps*. Devido ao uso da interface SPI, é possível interligar este módulo à maioria dos microcontroladores disponíveis. O alcance do módulo varia entre 10 e 50m, sem antena especial.

Uma das vantagens é que, um mesmo módulo pode atuar como emissor ou recetor, basta apenas efetuar a configuração por *software*.

A tensão de alimentação vai de 1.9V a 3.6V, os pinos de sinal podem trabalhar normalmente com nível de sinal de 5V.

O interface de comunicação SPI, baseia-se num protocolo de dados serie síncronos utilizado para comunicação entre microcontroladores ou periféricos. Também pode ser utilizado entre dois microcontroladores. Nas comunicações SPI há sempre um *master*. Isto é, terá sempre um *master* e o restantes serão *slaves*. Por exemplo, o Arduino é o *master* e o BBB será o *slave*. Esta comunicação contém 4 conexões do seguinte tipo:

- Master Input Slave Output (MISO) envia os dados do *Slave* para *Master*;
- Master Output Slave Input (MOSI) envia os dados do *Master* para *Slave*;
- Clock (SCK) faz a sincronização da transmissão de dados entre o *Master* e *Slave*;
- Slave Select (SS) seleciona o *slave*;

Nas comunicações rádio há ainda as conexões *Chip Enable* (CE), *Chip Select SPI* (CSN) e *Interrupt* (IRQ), cada uma com o seguinte significado:

- CE selecionar a ativação da receção ou da transmissão;
- CSN selecionar a ativação da transmissão ou da receção;
- IRQ permite fazer interrupções;

Beaglebone Black e Arduino

O BBB foi escolhido para servir de *Gateway*, o que se pretende é fazer a ponte dos dados recebidos do Arduino para a Internet. Que à posterior vai permitir visualizar os dados a partir de um computador.

As comunicações entre, Arduino e BBB é feita por via rádio. O BBB apenas vai receber os dados provenientes do Arduino. As ligações físicas de ambas plataformas ao *NRF24L01* estão representadas na figura 3.21 O BBB tem de ter uma biblioteca que é fornecida livremente, sendo possível instalar e adaptar ao nosso sistema.

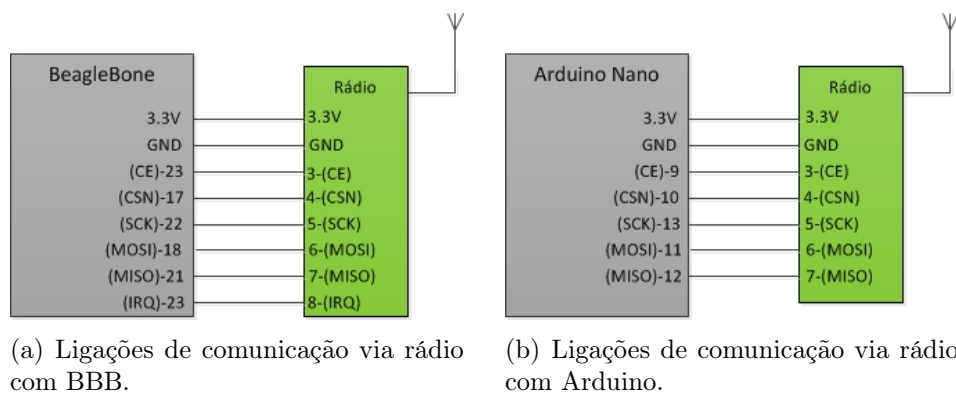


Figura 3.21: Ligações do módulo de rádio.

Sempre que haja um *reset* ou início do programa de comunicação, é executado sempre com o menu da figura 3.22. Ao iniciar, o emissor e recetor têm de estar sempre em concordância um com o outro, ou seja algumas das variáveis tais como: o canal de transmissão, receção, canal de rádio e *Status* (estado do rádio se é emissor ou recetor) todas têm de ser comuns. Caso não haja concordância a comunicação não se efetua, porque ambos não sabem para onde vão transmitir.

```

Setup Start
Ports OK
ADC OK
Timer OK
DHT OK
STATUS          = 0x0e RX_DR=0 TX_DS=0 MAX_RT=0 RX_P_NO=7 TX_FULL=0
RX_ADDR_P0-1    [] = 0xf0f0f0f0e1 0xf0f0f0f0d2
RX_ADDR_P2-5    [] = 0xc3 0xc4 0xc5 0xc6
TX_ADDR         = 0xf0f0f0f0e1
RX_PW_P0-6      [] = 0x20 0x20 0x00 0x00 0x00 0x00
EN_AA           = 0x3f
EN_RXADDR       [] = 0x03
RF_CH           = 0x60
RF_SETUP        [] = 0x27
CONFIG          = 0x0b
DYNPD/FEATURE   [] = 0x00 0x00
Data Rate       = 250KBPS
Model           = nRF24L01+
CRC Length      = 8 bits
PA Power        = PA_HIGH

```

(a)

```

STATUS          = 0x0e RX_DR=0 TX_DS=0 MAX_RT=0 RX_P_NO=7 TX_FULL=0
RX_ADDR_P0-1    = 0xf0f0f0f0d2 0xf0f0f0f0e1
RX_ADDR_P2-5    = 0xc3 0xc4 0xc5 0xc6
TX_ADDR         = 0xf0f0f0f0d2
RX_PW_P0-6      = 0x20 0x20 0x00 0x00 0x00 0x00
EN_AA           = 0x3f
EN_RXADDR       = 0x03
RF_CH           = 0x60
RF_SETUP        = 0x27
CONFIG          = 0x0b
DYNPD/FEATURE   = 0x00 0x00
Data Rate       = 250KBPS
Model           = nRF24L01+
CRC Length      = 8 bits
PA Power        = PA_HIGH

```

(b)

Figura 3.22: Consola de emissão do Arduino (a), Consolo de receção do BBB (b).

Só após deste procedimento de sincronização entre emissor e recetor é que começam as trocas de informação como, envio de uma mensagem referente às condições do sistema (temperatura/humidade, sensor anti-roubo e medição de fluxo). Estas mensagens podem ser visualizadas na figura 3.23.

```

Pacote: [1][2][0][0][0][2][0][1][0][0][0][0][0][1][0][0][0][0][0][1][2][1][0][0][0][0][2][0][0][0][0][0]
Pacote: [1][3][0][1][0][0][0][1][3][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][1][0][0][0][0][1][0][0][0][0][0][0]
Pacote: [1][4][0][29][0][42][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0]
Pacote: [1][5][79][78][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0]

```

(a) Envio do Arduino.

```

[1, 2, 0, 0, 0, 2, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 2, 1, 0, 0, 0, 0, 2, 0, 0, 0, 0, 0]
[1, 3, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 3, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
[1, 4, 0, 29, 0, 42, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
[1, 5, 79, 78, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]

```

(b) Receção no BBB.

Figura 3.23: Envio das mensagens do Arduino para BBB.

Comunicação Arduino

Como o módulo rádio pode ser configurado como emissor ou recetor via *software*, o esquema de ligação ao Arduino ao rádio pode ser visualizado na tabela 3.1. O *software* tem de utilizar a biblioteca *RF24*, que está disponível *online* basta adicionar a pasta *RF24* dentro da pasta bibliotecas da Integrated Drive Electronics (IDE) do Arduino e temos os módulos prontos a funcionar.

| Pinos | Arduino | | Radio |
|-------|---------|----|-------|
| Vcc | 3.3V | | 3.3V |
| GND | Gnd | -> | Gnd |
| CE | 9 | -> | 3 |
| CSN | 10 | -> | 4 |
| SCK | 13 | -> | 5 |
| MOSI | 11 | -> | 6 |
| MISO | 12 | -> | 7 |
| IRQ | - | -> | - |

Tabela 3.1: Conexões rádio e Arduino.

No início do programa tem de se ter cuidado nas configurações do módulo wireless, e atenção com a alimentação deste módulo, que é feita através do pino de 3.3V do Arduino. Para que a comunicação seja realizada com sucesso, os dois módulos devem possuir o mesmo endereço.

Arduino com Rádio

Os rádio usados foram os *NRF24L01* como explicado na secção anterior. O programa de testes instalado é o mesmo para os dois rádios. Tanto para quem transmite como para quem recebe a informação. O principio de funcionamento do programa impõe que o *slave* aguarde os comandos, receba e depois transmita os

dados. O *master* envia comandos e recebe as respostas do *slave*, e o *slave* aguarda a recepção dos comandos e envia a resposta de acordo com cada comando recebido.

Transmissão e Recepção Simples

O programa teste requer uma biblioteca específica do *NRF24L01*, que podemos fazer o *download*⁷ livremente e instalar na biblioteca no Arduino. Para testar os dois módulos é necessário instalar nos dois módulos o mesmo programa de teste que se encontra no menu arquivo do Arduino. No menu selecionar os exemplos e ir ao sub menu "RF24" e por fim abrir o ficheiro "*Getting Started*". Ao abrir o ficheiro temos de selecionar várias vezes a opção *slave* ou *master* em ambos os Arduinos. Aparece uma mensagem inicial conforme a figura 3.24 seguinte.

```
Setup Start
Ports OK
ADC OK
Timer OK
DHT OK
STATUS          = 0x0e RX_DR=0 TX_DS=0 MAX_RT=0 RX_P_NO=7 TX_FULL=0
RX_ADDR_P0-1    [] = 0xf0f0f0e1 0xf0f0f0d2
RX_ADDR_P2-5    [] = 0xc3 0xc4 0xc5 0xc6
TX_ADDR         = 0xf0f0f0e1
RX_PW_P0-6      [] = 0x20 0x20 0x00 0x00 0x00 0x00
EN_AA           = 0x3f
EN_RXADDR       [] = 0x03
RF_CH           = 0x60
RF_SETUP        [] = 0x27
CONFIG          = 0x0b
DYNPD/FEATURE   [] = 0x00 0x00
Data Rate       = 250KBPS
Model           = nRF24L01+
CRC Length      = 8 bits
PA Power        = PA_HIGH
```

Figura 3.24: Menu de iniciação de comunicações.

Após o procedimento da configuração a mensagem é visualizada na consola do Arduino, quer no que transmite, quer no que recebe.

Comunicação BBB

A versão BBB difere ligeiramente da versão anterior como pode ser visto na tabela 3.2 [31]. Tem como característica uma porta High-Definition Multimedia Interface (HDMI) micro bordo, 512MB de *Dynamic Random Access Memory* (DRAM) e 4GB de memória *onboard flash*, com um processador de 1GHz AM3358. A *On-board* HDMI pode ser ligada diretamente a TVs e monitores e ainda alberga um slot para cartão micro SD para uma maior expansão. O seu elevado número de entradas e saídas e a capacidade de processamento para análise em tempo real. O BBB permite prototipagem rápida. Este modelo de BBB permite ter um acesso mais simples à interface padrão de indústria, além de existir todo um ecossistema bem desenvolvido de *software* e ferramentas. O USB tem a versão 2.0, a porta serie tem acesso Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART)

⁷<https://maniacbug.wordpress.com/2012/03/30/rf24network/>

de 6 pinos. Alberga ainda pinos de alimentação para módulos de 3.3V e 5V e um módulo *Ethernet*. O sistema operativo tem por base *Linux Debian*.

| | BeagleBoneBlack | BeagleBone |
|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| On-Board HDMI | Sim | Não |
| DRAM | 512MB DDR3L 800MHz | 256MB DD2 |
| Flash | 4GB eMMC onboard, uSD | uSD |
| Processor | 4M3358BZCZ100, 1GHz | AM3358, 720MHz |
| Onboard JTAG | Optional | Sim |
| Serial Interface | Header | Via USB |
| Expansion Header | 92-pins header cape compatible | 92-pin header cape compatible |

Tabela 3.2: Tabela de comparação de BeagleBoneBlack com BeagleBone.

O propósito do BBB é de servir como *Gateway*, por outras palavras significa a ponte entre os dados processados do Arduino e a internet. Para haver essa interligação ambos têm de estar conectados a um módulo de rádio idêntico, descrito anteriormente. Para o seu correto funcionamento é necessário ter os dois módulos Arduino e BBB com os mesmos tipos de endereços de comunicação.

Na seguinte tabela 3.3 temos as ligações do rádio ao BBB.

| Pinos | BBB | | Radio |
|-------|------|----|-------|
| Vcc | 3.3V | | 3.3V |
| GND | Gnd | -> | Gnd |
| CE | 23 | -> | 3 |
| CSN | 17 | -> | 4 |
| SCK | 22 | -> | 5 |
| MOSI | 18 | -> | 6 |
| MISO | 21 | -> | 7 |
| IRQ | 24 | -> | 8 |

Tabela 3.3: Conexões rádio e BBB.

Quando se refere ao mesmo tipo de endereços multiplica ter o cuidado de configurar ao nível do software.

Transmissão de dados para BBB

As comunicações são realizadas por um módulo de comunicação *NRF24L01* muito usado em muitos projetos. este módulo permite enviar dados do microcontrolador para uma *Gateway*. Essa informação enviada pelo *Arduino*, conectado a um rádio *NRF24L01* que comunica para outro rádio que está ligada à *gateway*. O *Beaglebone black* que desempenha o papel de *Gateway*, recebe os dados enviados que depois interpreta a mensagem. Esses dados vêm num pacote de 32bytes que é o máximo admissível este módulo de rádio consegue transmitir como pode ser

visualizada pela figura 3.25. A mensagem é recebida com uma periodicidade que pode ser determinado pelo utilizador ou programada em x em x tempo para enviar a mensagem. O corpo da mensagem pode ter informação sobre as entradas, saídas, temperatura/humidade ou mesmo indicar o estado do sistema, bem como o indicar se alguém mexeu na colmeia. Para uma melhor compreensão deste tipo de mensagem especificaram-se vários tipos de tramas que o utilizador pode usar. A figura 3.4 dá uma ideia das tramas utilizadas.

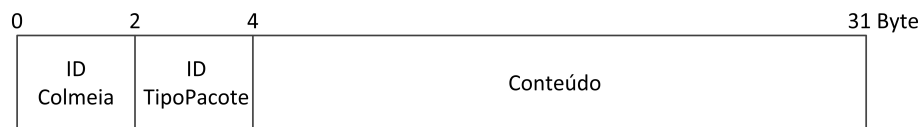


Figura 3.25: Pacote de mensagem do Arduino para o BBB.

A mensagem que é transmitida pode ser visualizada a partir da tabela 3.4, no IDPacote1 tem o número de identificação de cada colmeia, no IDPacote 2 possui no conteúdo quantas entradas ocorreram em cada porta da colmeia, no IDPacote 3 apresenta no seu conteúdo o número de saídas que ocorreu em cada porta da colmeia, no IDPacote 4 indica no conteúdo o valor da temperatura e humidade, no IDPacote 5 refere no seu conteúdo se o microcontrolador está ativo ou desativo e avisa se a colmeia foi removida.

| IDTipoPacote | Conteúdo |
|--------------|----------------------|
| 1 | Número da colmeia |
| 2 | Entradas nas portas |
| 3 | Saídas nas portas |
| 4 | Temperatura/Humidade |
| 5 | Statearduino/Alarme |

Tabela 3.4: Composição do pacote da mensagem.

Em suma podemos ver no anexo A.1 o circuito geral do sistema, bem como o layout do sistema em circuito impresso que está no anexo B.1. Neste circuito estão todos os sub-blocos da placa mãe anteriormente descritos, o intuito de colocar todos sistemas numa só placa era o de facilitar a manutenção do sistema.

3.3 Algoritmo de Fluxo de Abelhas

Para conseguir chegar a um algoritmo teve-se de estudar as várias hipóteses que poderiam acontecer na colmeia. Conforme se mostra na figura 3.26 numa primeira fase, temos a abelha a querer entrar dentro da colmeia, mas sem interromper nenhum sensor de emissão. No segundo caso a abelha interrompe o feixe do primeiro sensor, mas sem interromper o segundo sensor. Na terceira fase temos a abelha que já interrompeu o primeiro sensor e interrompe também o segundo sensor. Por último temos uma entrada da abelhas, deixando os dois dispositivos de emissão outra vez ativos. Este tipo de raciocínio tanto se faz para a entradas como para saídas. Mas há casos que não se pode considerar passagem, mas no entanto houve ativação pelo menos um sensor ou mais. Ou seja a abelha até pode interromper o primeiro sensor se estiver a efetuar uma entrada, mas pode voltar para trás. Esta situação não será considerada uma entrada na colmeia. O mesmo caso pode acontecer na saída. Pode ocorrer, duas abelhas entrarem em fila muito coladas, e podemos pensar que será contabilizada como uma entrada ou saída. O medidor de fluxo tem de ter em consideração todos estes fatores e agrupa-os numa máquina de estados⁸.

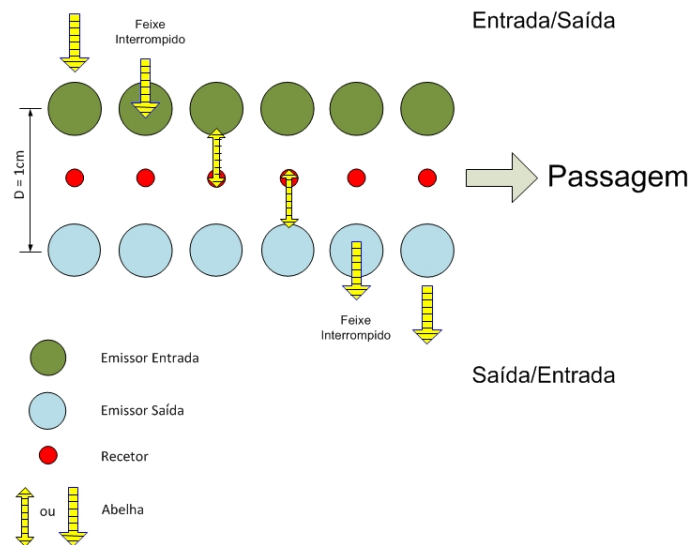


Figura 3.26: Algoritmo de cálculo do fluxo de abelhas.

Considerando uma velocidade mínima de $0.05ms^{-1}$ a abelha a caminhar [18], e $200ms$ o tempo que a abelha demorar a percorrer a distância D conforme pode ser visualizado na figura 3.26 dos dispositivos de emissão. No protótipo a largura do orifício que a abelha terá de passar é de $1cm$ de largura.

No que respeita ao processamento de sinal dos recetores, a partir da figura 3.27

⁸É uma máquina abstrata que deve estar em um dos seus estados finitos. Apenas está em um estado por vez, esse estado é chamado de estado atual.

podemos observar que o maior espaço de tempo é dedicado ao processamento da informação cerca de $130\mu s$. O tempo que a abelha demora a passar pelo primeiro sensor é cerca de $30\mu s$ e os $10\mu s$ é o tempo até ativar o segundo sensor. O segundo sensor fica desativado durante $30\mu s$ e passado esse tempo fica logo ativo. Quando está no nível zero, significa que há ausência de abelha.

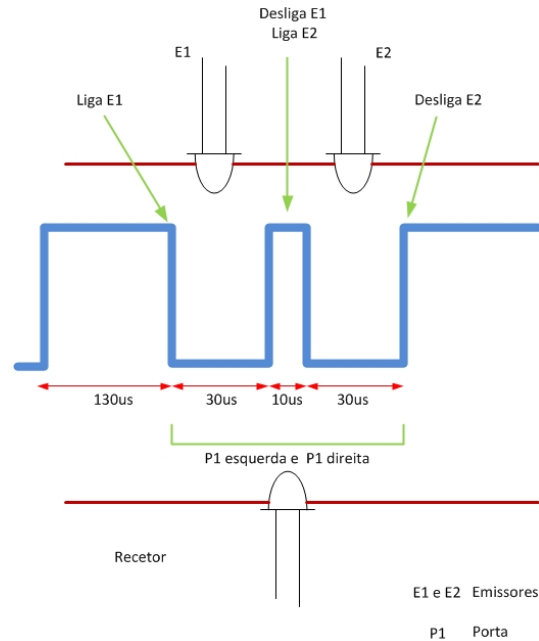


Figura 3.27: Desenho do sinal dos recetores.

A partir do estudo do algoritmo de cálculo do fluxo de abelhas chegou-se a uma máquina de estados que está ilustrada na figura 3.29. Esta máquina de estados contém 5 estados possíveis, assim sendo temos o estado 0 (não há passagem de abelhas), estado 1 (houve uma passagem de abelhas no emissor de entrada), estado 2 (houve passagem de abelha no emissor de saída), estado 3 (houve a passagem por emissor de entrada ou emissor de saída) e um estado de -1 (houve um erro no medidor de fluxo).

Considera-se uma entrada quando obtemos a seguinte sequência $[0,1,3,2,0]$, cada posição da sequência é um nível como se pode ser observado na figura 3.28.

Considera-se uma saída quando obtemos a seguinte sequência $[0,2,3,1,0]$ como é representada na figura 3.28.

Se por ventura acontecer uma anomalia durante a sequência, esta entra num estado de erro -1. O que significa que houve uma passagem de qualquer outro nível que não foi detetado durante a sequência de entrada ou de saída.

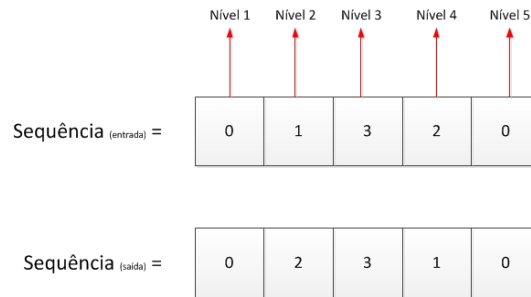


Figura 3.28: Sequência e níveis da entrada e saída.

O estado inicial da máquina de estado inicia-se pelo estado 0, neste estado pode ocorrer 4 situações.

Passar do estado 0 para o estado 1, nível 2 significa que a abelha que interrompeu o feixe do emissor de entrada do túnel do medidor de fluxo.

Se permanecer no estado 0, nível 1 demonstra que não há passagem da abelha.

Se passar do estado 0 para o estado 2, nível 2 significa que a abelha interrompeu o emissor de início de saída do túnel do medidor de fluxo.

Se passar do estado 0 para o estado -1, revela que aconteceu um erro na sequência de entrada.

O estado 1 origina 4 acontecimentos que têm o seguinte significado. Se a abelha passar do estado 1, nível 2 para o estado 3, nível 3 significa que a abelha está no meio dos emissores infravermelhos. Em termos de sentido de direção tanto pode estar a dirigir para a entrada como para a saída.

Se passar para o estado 0, nível 1 significa que a abelha voltou para trás. Se passar para o estado 0, nível 5 significa que a abelha voltou para a colmeia.

Se passar para o estado -1, significa que aconteceu uma anomalia no medidor de fluxo.

Se por algum motivo a abelha ficar no estado 1, nível 2 significa que a abelha ficou parada no início da entrada do túnel de medidor de fluxo. Se permanecer no estado 1, nível 4 significa que a abelha ficou parada no início da saída do túnel de medidor de fluxo.

O estado 2 ocorre 4 acontecimentos, se abelha permanecer no estado 2, nível 2 significa que a abelha ficou parada no início da saída do túnel de medidor de fluxo. Se permanecer no estado 2, nível 4 significa que a abelha está a dirigir para dentro da colmeia.

Se passar para o estado 0, nível 5 significa que a abelha entrou dentro da colmeia, mas se passar para o estado 0, nível 1 significa que a abelha voltou para dentro da colmeia.

Se passar do estado 2 para o estado 3, nível 3 significa que a abelha está no meio dos emissores infravermelhos.

Se passar do estado 2 para o estado -1, significa que ocorreu uma anomalia no medidor de fluxo.

No estado 3 ocorre 4 acontecimentos que têm o seguinte significado.

Se a abelha permanecer no estado 3, nível 3 significa que a abelha está no meio dos emissores infravermelhos.

Se passar do estado 3 para o estado 1, nível 2 significa que a abelha voltou para a entrada do túnel de medidor de fluxo. Se passar do estado 3 para o estado 1, nível 4 significa que a abelha está a dirigir para a saída da colmeia.

Se passar do estado 3 para o estado 2, nível 2 significa que a abelha voltou para dentro da colmeia. Se passar do estado 3 para o estado 2, nível 4 significa que a abelha está a dirigir para dentro da colmeia.

Se passar do estado 3 para o estado -1, significa que ocorreu uma anomalia no medidor de fluxo.

Por fim temos o 5 estado, ou seja o estado -1 que se verifica a ocorrência de 2 possibilidades. Quando se dá início ao sistema de medidor de fluxo temos de considerar que dentro da colmeia não há nenhuma abelha. Por essa ordem de ideias tem de haver a passagem do estado -1 para o estado 0. O outro estado é o medidor de fluxo permanecer no estado -1 por causa de avaria ou erro na sequência na máquina de estados. Na máquina de estados da figura 3.29 estão as letras S, que corresponde à saída na colmeia e a letra E que corresponde a entrada na colmeia.

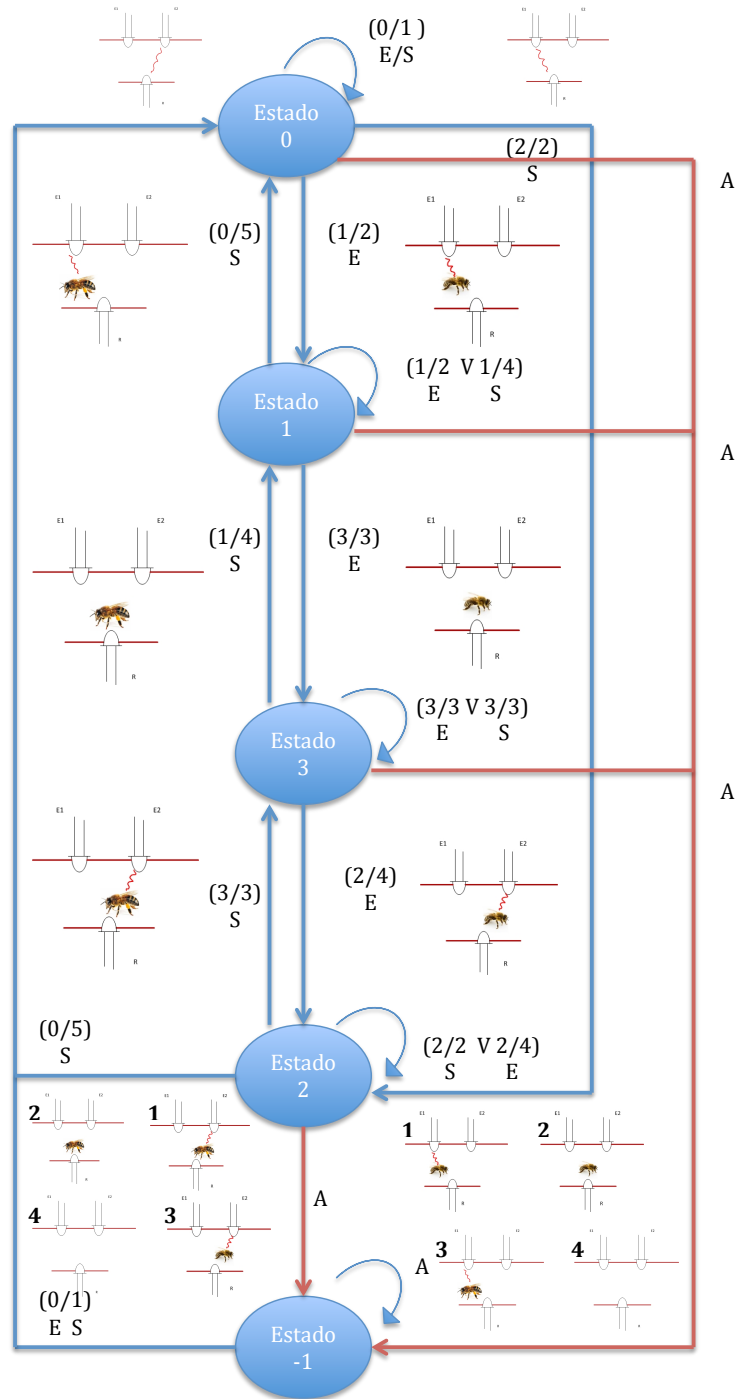


Figura 3.29: Máquina de estado do controle de fluxo.

3.4 Autonomia do sistema

A localização das colmeias ficam muitas das vezes em meios naturais ou em locais remotos portanto foi necessário ter uma fonte de energia externa que conseguisse armazenar e fornecer energia ao sistema. Uma bateria era o ideal, devido à sua portabilidade e autonomia. O dimensionamento da bateria foi feito a partir de uma estimativa de consumos de todo o sistema ligado. Essa estimativa foi de $200mA$ para uma tensão de $5V$. Para entender como o cálculo funciona, é preciso saber que a capacidade de energia da bateria é medida em miliAmpéres por hora, cuja sigla é mAh . Na figura seguinte 3.30 podemos visualiza a bateria do sistema.

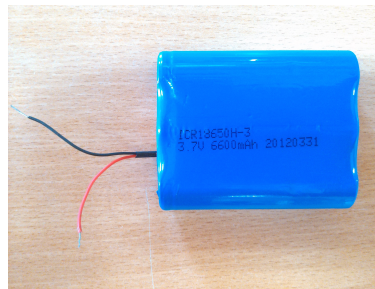


Figura 3.30: Bateria que alimenta o sistema.

Assim, é necessário conhecer o consumo do sistema para medir o tempo de duração de uso da bateria no dispositivo.

A unidade mAh é o resultado de uma fórmula com 2 unidades: Corrente (mA) x hora tempo (h).

Para a bateria usada fez-se o estudo da autonomia do sistema, com a seguinte equação 3.5. Onde o N_{hsist} é igual ao número de horas de autonomia do sistema, C_{pbat} é a capacidade da bateria (mA/h) e por último temos I_{sist} é a corrente que o sistema consome (mA). Para o sistema proposto o consumo é de $200mA$ e as baterias têm uma capacidade de $6600mAh$, logo obtém-se uma autonomia do sistema de 33 horas, cerca de 1 dia.

$$N_{hsist} = \frac{C_{pbat}}{C_{psist}} \quad (3.5)$$

Para saber o tempo de recarga que o sistema levaria a carregar este tipo de baterias vamos usar a equação 3.6. Ter em atenção a capacidade de carga do carregador $C_{carregador}$ para o cálculo. Assim sendo vamos ter um tempo de recarga de 1 hora e 32 minutos.

$$T_{recarga} = \frac{C_{pbat}}{C_{carregador}} \quad (3.6)$$

Devido à baixa autonomia da bateria em alimentar o sistema cerca de 1 dia e ao posicionamento remoto das colmeias leva futuramente à necessidade de adição de

maior número de baterias ou adição de dispositivos de armazenamento de energia como painéis solares.

Apesar de todos os cálculos de dimensionamento da bateria, na realidade neste projeto não foi conseguido implementar no protótipo. Assim sendo o protótipo foi alimentado por uma fonte de alimentação de laboratório.

3.5 Notas finais

Ao concluir a descrição de todos os passos do sistema, podemos concluir que temos várias partes fulcrais no sistema onde existe mais atenção, na lógica de controlo, na autonomia do sistema, colocação dos sensores de temperatura/humidade dentro da colmeia. A colocação dos dispositivos de emissão nas placas de circuito impresso poderá causar desafios devido aos recetores conseguirem detetar os emissores esquerda/direta em boas condições. Nos sensores de telemetria é de esperar que as abelhas não cubram com própolis os sensores e que não danifiquem ou mesmo perturbem as medições do sistema. Tendo também atenção às comunicações onde podemos ter dificuldades aos tamanhos das mensagens que vamos enviar, tipo de pacotes de mensagem que iremos enviar para a *Gateway*. Por fim este capítulo descreve como está organizado o sistema e descreve o funcionamento de cada bloco tendo uma ideia geral.

Capítulo 4

Consolidação e testes de desempenho do protótipo

"Como a abelha trabalha na escuridão, o pensamento trabalha no silêncio e a virtude no segredo."
Mark Twain

4.1 Testes em laboratório

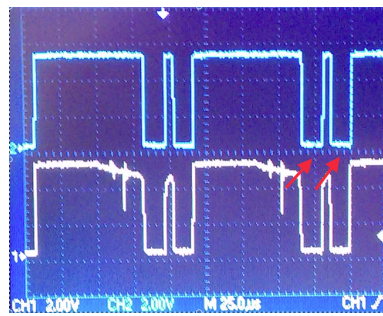
Como qualquer protótipo existe sempre uma componente teórica e prática neste não foi exceção. Sendo este um projeto que tem de ser testado no exterior teve que passar por inúmeros testes em laboratório. Os sistemas foram analisados por partes, desde o tipo de materiais mais convenientes ao tipo de estrutura, que sensores de fluxo mais aconselháveis, tipos de sensores de temperatura/humidade mais propícios para colmeias. Se o sistema de anti-roubo respondia aos requisitos propostos. Verificar se os sistemas de comunicações eram os mais adequados na transmissão de dados. Nos testes dos sensores realizou-se caso a caso relativamente a cada tipo de sensor usado no sistema. Cada sensor será testado individualmente já com intuito de solucionar avarias futuras, portanto era mais fácil a deteção de avarias. O funcionamento de cada sensor e o tipo de mensagens que podemos esperar dos sensores. Nas subsecções seguintes podemos verificar tipos de testes que foram realizados antes de interligar ao sistema geral do protótipo.

4.1.1 Emissores e Receção

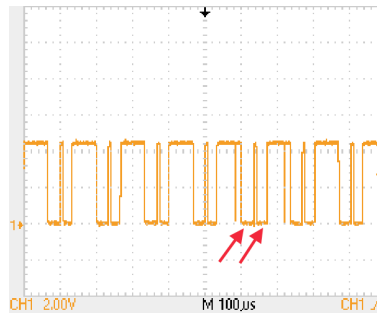
No circuito de emissão, testou-se alguns emissores de infravermelhos numa primeira fase os emissores infravermelhos escolhidos foram *SFH486*, tendo um comprimento de onda de $880nm$. Como não há necessidade de haver comprimento de onda elevado, porque as dimensões da porta de entrada da régua por onde a abelhas entra mede uns $15mm$. Contudo o ângulo de visão de 11° dos emissores já é determinante, pelo motivo de haver a necessidade de serem detetados com clareza pelo dispositivo de receção.

Durante estes testes os *SFH486* tiveram até um comportamento aceitável. Como se verifica pela figura 4.1 (a). Quando os emissores não forem bem colocados, os recetor terão dificuldade para efetuar uma deteção correta. Para haver então uma boa deteção também é necessário não só ter um ângulo de visão, mas também ficarem bem centrados na estrutura de madeira caso não aconteça pode provocar dificuldades na receção. A informação proveniente do componente, *SFH486* foi retirada a partir do documento da descrição do fabricante.

Numa segunda fase de testes testou-se outro modelo de dispositivos de emissão os *OP293A*, estes dispositivos têm as seguintes características: comprimento de onda de $890nm$, ângulo de visão de 60° . Os *OP293* têm um ângulo de visão muito superior do que o anterior dispositivo de emissão, estes abrangem mais o ângulo de visão. Por isso a deteção por parte dos recetores melhora consideravelmente, porque permite detetar melhor os emissores (frente e trás). Apesar da figura 4.1 (b) não terem a mesma escala é possível verificar que os emissores *OP293* estão melhor caracterizados que os emissores *SFH486*.



(a) Emissores (*SFH486*) da esquerda e direita.



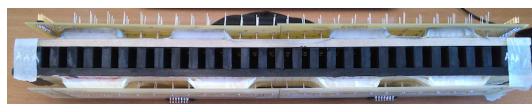
(b) Emissores (*OP293A*) da esquerda.

Figura 4.1: Sinal à saída do amplificador.

Na figura 4.2 dá para ter uma ideia que uma das causas da má receção pode ser da má instalação da régua. Devido a este fator não é menos importante que as próprias características dos emissores, deste modo a instalação dos emissores têm de ser colocados com um ângulo. O ângulo de instalação que os emissores foram instalados, foi calculado por via de tentativa e erro como dito anteriormente no capítulo 3.



(a)



(b)

Figura 4.2: Sistema instalado na Régua de fluxo.

Foi necessário verificar se está em conformidade o tempo de amostragem dos emissores e a velocidade do sistema calculado anteriormente. Se o sistema tinha capacidade para detetar as abelhas, isto é se ao entrar várias abelhas em portas diferentes, do tipo Porta 3 e a Porta 24 se entrar nestas portas uma abelha o sistema tem capacidade de leitura. Portanto podemos verificar na figura 4.3 que o tempo de amostragem dos emissores é de $1.7ms$ por outras palavras é o tempo que o emissor demora a realizar um ciclo. O ciclo é o tempo que os emissores demoram a percorrer os 13 emissores até voltar à posição inicial, tanto do lado esquerdo como do lado direito.



Figura 4.3: Tempo de amostragem do sistema.

O tempo de comutação ($TempComut$) da porta A para a porta B é dado pela equação 4.1, obtendo o seguinte resultado de $130\mu s$.

$$TempComut = \frac{Tempo\ amostragem}{Numero\ emissor} \quad (4.1)$$

O que se conclui que o tempo de resposta que o sistema demora a ativar o dispositivo de emissão seguinte é de $130\mu s$.

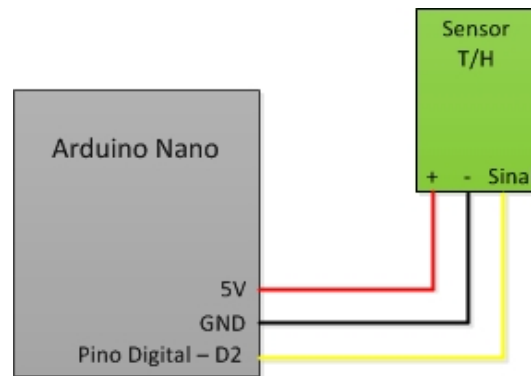
4.1.2 Sensor Temperatura/Humidade

Como já anteriormente referido o *AM2302* é um dispositivo que permite receber informação relativamente à temperatura/humidade. O seu propósito neste trabalho é efetuar medições de dentro da colmeia, mais propriamente no ninho. Por este motivo também se teve em conta a própria estrutura do sensor, que contém um invólucro resistente a materiais rígidos. A partir das suas ligações físicas com o Arduino que está ilustrado na tabela 4.1.

| Pinos | Arduino | AM2302 |
|--------------|---------|------------|
| Vcc | 5V | 5V |
| Gnd | Gnd | Gnd |
| Pino digital | D2 | Data-Sinal |

Tabela 4.1: Ligações Arduino com sensor AM2302.

Este tipo de sensor permite medir T/H num só sensor sem precisar de ter dois sensores a realizar estas duas medições. Como exemplo temos a figura 4.4 que permite visualizar como está conectado ao microcontrolador Arduino. As ligações deste módulo é composto por três pinos dois para a alimentação e um terceiro para a transmissão de dados. O pino de cor amarelo serve para a transmissão da informação do sensor. O tipo de alimentação deste módulo é de 5V e o pino de dados é conectado a um pino digital (D2) do Arduino.

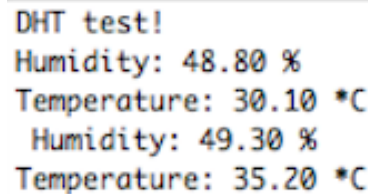
Figura 4.4: Esquema de ligações do Arduino e sensor *AM2302*.

A comunicação usada neste tipo de sensor é um sinal bidirecional que é usado para comunicar entre microcontrolador e o *AM2302*. Este dispositivo apenas utiliza uma única linha de barramento, para a troca de dados. Se o Arduino enviar um sinal de início, a mudança de estado, do modo de estado do sensor *AM2302* fica em estado de ativo. Quando microcontrolador termina o envio do sinal de início, o *AM2302* também envia um sinal de resposta de dados transmitindo a humidade relativa e a temperatura. Se não houver sinal de início de mensagem do Arduino, o *AM2302* não envia sinal de resposta ao Arduino. Se por acaso houve um sinal de início de mensagem por parte do microcontrolador então o *AM2302*, envia os dados da humidade relativa e temperatura. O *AM2302* só muda de estado de espera, quando a mensagem é recebida totalmente porque senão tem de receber o sinal de início de mensagem do Arduino.

Como o código exemplo da é fornecido pela empresa *Adafruit*¹, que consiste em adicionar à biblioteca do Arduino e testar o sensor *AM2302*. Na figura seguinte

¹Empresa de comércio eletrónico (www.adafruit.com)

4.5 vamos observar 2 medições recebidas do sensor a detetar várias Temperaturas/Humidade a diferentes tipos de ambientes, quente e frio.



```
DHT test!  
Humidity: 48.80 %  
Temperature: 30.10 *C  
Humidity: 49.30 %  
Temperature: 35.20 *C
```

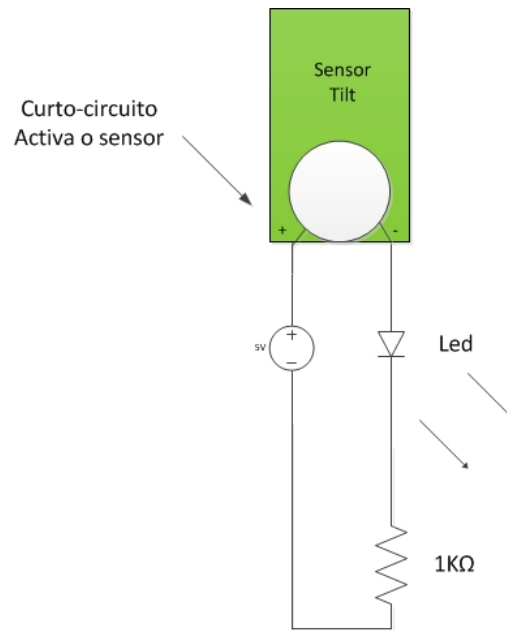
(a) Medidas do sensor temperatura e humidade.

Figura 4.5: Mensagem do sensor *AM2302*.

Uma das desvantagens deste tipo de sensor é mesmo o tempo de espera até obter uma nova leitura, cerca 2s [32].

4.1.3 Sensor Anti-roubo

Como precisávamos de ter um sistema de anti-intrusão, tivemos que realizar alguns testes de teste do sensor. Um desses testes que se realizaram em laboratório e de forma simples para compreender o princípio de funcionamento do sensor, foi projetar um simples circuito conforme está representado na figura 4.6. Foi conectar um interruptor de inclinação em série a um LED, com uma resistência a uma bateria. Quando surgia uma inclinação no dispositivo de -10° fazia ligar o LED, se por acaso inclinássemos em sentido oposto este desligava o LED. Este tipo de circuito é simples e fácil de verificar se o sensor de anti-roubo funciona corretamente.



(a) Princípio básico.

Figura 4.6: Sensor anti-roubo.

A partir do conceito que se visualizou na figura 4.6 anterior, dá para ver o quanto simples é o sensor. Como o dispositivo de anti-intrusão não vai estar ligado a um LED, nem a uma fonte de alimentação mas sim a um microcontrolador. Assim sendo o circuito vai ser totalmente diferente, como se pode ser visto pela figura 4.7. O dispositivo vai estar conectado ao microcontrolador por meio de uma resistência de $1k\Omega$ ao pino digital D2 do Arduino. O código fonte do sensor já faz parte dos exemplos que já vem com o software do Arduino de seu nome *Button*.

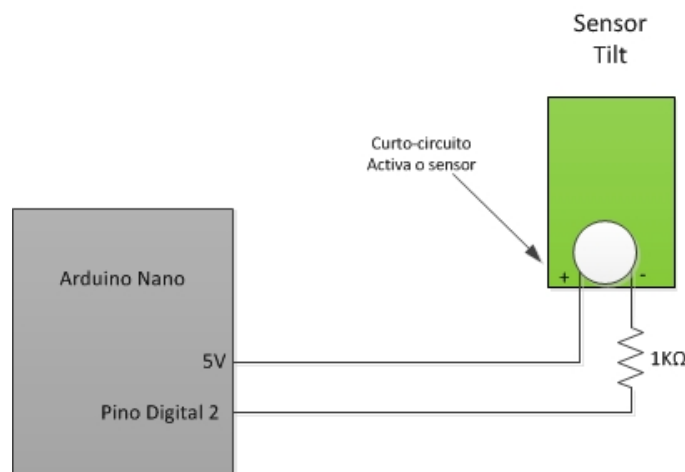


Figura 4.7: Funcionamento básico do sensor Anti-roubo.

No que se refere ao sensor uma das desvantagem é mesmo na posição horizontal sendo muito sensível, seja qualquer mínimo movimento o dispositivo fica imediatamente ativo. Durante os testes foi possível de analisar o quanto era sensível o sensor, como era tão sensível o sensor uma das hipóteses era de colocar o sensor no interior da colmeia. Como no interior da colmeia as abelhas iriam causar alguma perturbação no dispositivo, portanto decidiu-se instalar na estrutura de proteção da régua o mecanismo de anti-roubo.

4.2 Testes de comunicações

Durante os ensaios das comunicação houve a necessidade de realizar vários testes dos módulos de rádio para garantir que tipo de rádios deveriam ser usados em campo. Antes de avançar para a transmissão Arduino BBB começou-se com simples testes de transmissão entre Arduinos, para poder observar como se comportavam as comunicações. Os testes consistiam em enviar um *ping* para um outro Arduino e receber uma mensagem. Essa mensagem consiste em enviar um *ping* e verificar se o Arduino de recepção recebia o tempo de latência e a conectividade do Arduino emissor.

Não houve a necessidade de desenvolver nenhum software de teste, uma vez que já vem na biblioteca do módulo rádio *NF24* no menu exemplos o programa *GettingStarted*.

Ao comprovar que os rádios *NRF* estavam a funcionar corretamente passou-se aos testes de envio de mensagens do Arduino para o BBB. Através das bibliotecas previamente instaladas e com os pacotes já configurados, o tipo de tamanho de cada mensagem de envio. Como vamos ter vários tipos de pacotes, desde entradas, saídas, Temperatura/Humidade, estado do sistema e alarme anti-roubo. O tamanho da mensagem que podemos enviar pelo módulo *NRF24l01* é de *32bytes*, assim sendo preferimos enviar em todos pacotes de mensagem o tamanho máximo, porque simplesmente era mais simples (mesmo tendo a noção que não era necessário enviar tantos bytes). No pacote de *entradas* podiam ser enviadas 26 byte de mensagem do estado de porta, ou seja, um byte por porta.

No pacote de *saídas* fizemos o mesmo raciocínio das entradas, mesmo só necessitando de 26 bytes.

No pacote que se refere à *temperatura/humidade* considerou-se um tamanho de 4 bytes de mensagem.

Considerou-se que 2 bytes era o suficiente para representar o valor da temperatura e os outros 2 bytes eram para a humidade. Mas na prática enviamos toda a informação num pacote de 32 bytes.

No pacote de *estado do sistema*, bem com no pacote *alarme*, considerou-se apenas 2 bytes, um byte por variável. O estado do microcontrolador permite indicar o estado ligado/desligado, o alarme também vai indicar o estado ligado/desligado. Por uma simplificação preferimos enviar tudo num pacote de 32 bytes.

Transferência de dados do Arduino para o BBB

Com já foi referido anteriormente o pacote de mensagem é enviado pelo Arduino contem o seguinte formato conforme se pode ver na figura 4.8, vamos obter 4 pacotes independentes e cada um contem o seu respetivo código.

```
Pacote: [1][2][0][1][2][4][1][0][1][0][0][0][1][0][0][0][0][0][0][1][0][0][1][0][0][0][1][1][0][0][0][0]
Pacote: [1][3][0][0][0][1][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][1][0][1][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0]
Pacote: [1][4][0][28][0][46][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0]
Pacote: [1][5][79][78][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0][0]
```

Figura 4.8: Pacote das 4 mensagens de envio.

Ao analisar este pacote [1][2][30 bytes de dados], o que se pretende dizer é [1] identifica o *número da colmeia*, ou número da Printed Circuit Board (PCB) estado do sistema, [2] neste caso corresponde ao *pacote de entradas*, ...[0][1][2][4][1][0]... indicam a posição na régua e ao número de vezes que ocorreu uma entrada, por outras palavras diz que na posição 1 entrou 1 abelha na posição 2 entrou 2 abelhas e na posição 3 entrou 4 abelhas e assim sucessivamente. O pacote [1][3][0][0][0][1]... [3] indica o pacote de *saídas* e o [0][0][0][1] correspondem à posição na régua e ao número de vezes que ocorreu uma saída, que neste caso temos uma saída na posição 4. O pacote [1][4][0][28][0][46] tem o seguinte significado [1] *número da colmeia*, [4] corresponde à *temperatura/humidade*, [0][28] indica o valor da temperatura e [0][46] indica o valor da humidade. Por fim o pacote [1][5][79][78] significa que [1] *número da colmeia*, [5] indica o *estado do alarme anti-roubo* em caracteres *ASCII*, [79] corresponde na tabela *ASCII* ao O e o [78] ao N formando a palavra *ON*.

Receção de dados no BBB

Ao receber os dados proveniente do Arduino o BBB ao ter as configurações corretas vai receber os pacotes de mensagem que o Arduino enviou. Tendo o mesmo significado explicado anteriormente na subsecção "*Transferência de dados do Arduino para o BBB*". A mensagem de receção tem o seguinte formato que pode ser visualizada na seguinte figura 4.9.

```
[1, 2, 0, 0, 0, 2, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 2, 1, 0, 0, 0, 0, 2, 0, 0, 0, 0, 0]
[1, 3, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 3, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
[1, 4, 0, 29, 0, 42, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
[1, 5, 79, 78, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
```

Figura 4.9: Pacote das 4 mensagens de receção.

Ao ter este tipo de informação o BBB vai reencaminhar por rede para uma plataforma web, que permite visualizar os dados referentes às colmeias. Essa informação será analisada e tratados por software para uma plataforma já previamente formatada. Esses dados deveram ser visualizados em gráficos.

4.3 Desafios encontrados

A calibração dos ângulo de visão dos emissores foi complicada de calibrar, porque qualquer toque na placa de circuito impresso desviava o ângulo de visão dos dispositivos de emissão. O que causava cometer erros na medição de fluxo e na detecção por parte dos recetores, podendo passar abelhas por essa porta e não realizar a contagem. O que poderia levar a um raciocínio errado pensando que estaria uma abelha morta ou mesmo que o sensor estaria danificado.

Como a régua é de madeira, sendo um material com dureza elevada é difícil de moldar. A furação foi um dos desafios encontrados devido ao ângulo admissível que os emissores tinham de ter para ficarem bem caracterizados. O que levaria aos recetores conseguirem detetar dos dois emissores corretamente. Este fator é dos mais sensíveis em todo sistema uma vez que os emissores/recetores são uma parte essencial da medição de fluxo. Muitos dos problemas de medição de fluxo vem desta sensibilidade devido a não estarem bem alinhados ou estarem mal colocados na régua, porque basta um mínimo toque nestas placas para que o sistema deixe de funcionar corretamente.

Nas comunicações a transmissão via rádio, um dos desafios será mesmo o alcance e que tipo de obstáculos que o terreno apresentará. Uma vez que apesar os teste tenham corrido bem entre salas de laboratórios e campo aberto, quando se colocava o recetor no exterior com árvores os rádios demonstravam perdas de transmissão do sinal.

Depende sempre do alcance e da autonomia, do tipo de ambiente onde estão instaladas as colmeias.

Para poder ir para o terreno o protótipo tinha de ter uma caixa para proteger e alojar todo os dispositivos do sistema. Assim construí-se uma estrutura em madeira para proteger o sistema das condições climáticas. O desafio foi mesmo escolher qual era o melhor formato para a caixa e como incluir todos os sistemas conforme se pode ver na figura 4.10.

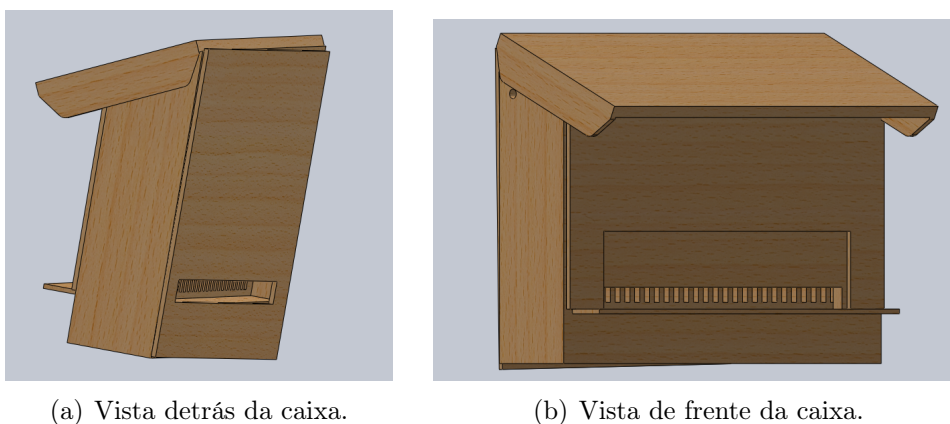


Figura 4.10: Estrutura de proteção da régua.

Neste protótipo houve também a necessidade de criar um sistema de cabos entre placas de circuito impresso. As ligações entre placa mãe e placas de emissores houve alguns desafios devido número elevado de emissores e recetores com distâncias tão diferentes entre elas. Nas placas de receção teve-se que criar ligações com maior comprimento.

4.4 Soluções encontradas

Alguns desafios iam aparecendo mas também surgia novas soluções. Para os ângulos dos emissores criou-se um gabarito,² para ajudar na furação com os ângulos de visão. Apesar de ser muito rudimentar este instrumento de alinhamento. A furação de ângulos teve sucesso, conseguiu-se o que se cria. Como se pode visualizar na figura seguinte 4.11 o sistema de alinhamento e furação. O sistema ajuda mas não é perfeito. A colocação das placas de emissores e recetores nos furos da régua teve-se de colocar uns calços entre placa e régua para que os emissores/recetores ficassem alinhados corretamente.

Nas comunicações escolheram-se novos rádios com maior alcance, para conseguir transmitir com eficácia através das árvores.

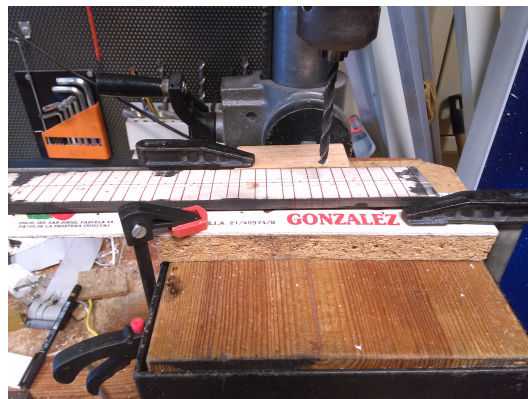


Figura 4.11: Gabarito de furação dos dispositivos de emissão e receção.

A solução mais indicada foram estes módulos de rádio podendo transmitir à distância sem precisar de instalar cabos da colmeia até à *Gateway*.

4.5 Estrutura na colmeia

Para que o protótipo fosse para testes de campo foi necessário proteger o sistema. Assim construí-se uma estrutura em madeira que fosse resistente. Essa estrutura deveria ainda suportar a bateria do sistema bem como o rádio e outras aplicações

²Instrumento que serve para verificar medidas.

futuras. Uma vez que a régua de testes não possuía uma placa de voo para as abelhas aterrar, agora na estrutura já se construí. Devido às condições climáticas houve a preocupação de construir um telhado que desse para proteger da chuva para que não caísse diretamente na régua. Houve a preocupação de criar um método de rápido, caso houvesse avarias no sistema para uma fácil reparação. Uma vez que o sistema foi projetado em módulos já com o intuito de fácil arranjo. Nas figuras 4.12 observa-se o aspeto final da caixa e de todo sistema que ela contém.



(a) Vista de frente da caixa.



(b) Entrada da régua.



(c) Sistema incorporado na caixa.



(d) Vista de trás da caixa.

Figura 4.12: Caixa de protecção da régua.

Perante as imagens da estrutura permite visualizar a régua de medição de fluxo e os outros dispositivos de monitorização, comunicação e alimentação. O dispositivo de movimento anti-roubo fica instalado na própria estrutura da caixa, o módulo de T/H é o único sensor que vai ser instalado dentro da colmeia mais propriamente no ninho. A parte debaixo da estrutura está instalado todo sistema de medição de fluxo de abelhas, na parte de cima da estrutura está o sensor anti-roubo, as baterias para alimentar o sistema e o módulo de rádio. Uma vez que o sensor de T/H vai estar fora a estrutura para efetuar as medições no ninho da

colmeia. Antes de instalar a estrutura na colmeia teve-se a necessidade de pintar toda a estrutura com cera de abelha para as mesmas não estranharem a estrutura no seu habita.

4.6 Notas finais

Todos os testes realizados por mais simples que pareçam tornam o sistema mais seguro e eficaz caso aconteça uma avaria. Uma vez que está já construído a facilitar a identificação de uma avaria. Os módulos de transmissão poderão não ter o alcance necessário caso a colmeia esteja no centro de um pinhal ou floresta. O sensor de temperatura/humidade como vai ser colocado dentro da colmeias, mais propriamente no núcleo da colmeia não temos a certeza do comportamento das abelhas a este objeto estranho ao seu habita.

Capítulo 5

Conclusão e trabalhos futuros

"Não é digno de saborear o mel aquele que se afasta da colmeia por medo das picadas das abelha!"

William Shakespeare

Nesta dissertação explorou-se um modo de monitorizar e quantificar o fluxo de abelhas, com o intuito de ajudar na investigação de um dos mais problemáticos fenómenos que consiste no desaparecimento de colónias de abelhas. Na apicultura existem muitos parâmetros que influenciam a produção de mel e manutenção dos habitantes das colmeias. Assim a medição destes pode ajudar o apicultor a conhecer melhor as características ótimas para um melhor desenvolvimento da sua atividade. A investigação destes, junto dos produtores de mel foi realizada por forma a descobrir os mais importantes e inovadores.

A temperatura é consensualmente uma das variáveis mais solicitadas, que no âmbito deste trabalho corresponde à sua medição dentro da colmeia. Valores elevados indica que a colmeia está sobre uma ameaça de invasores externos, incêndios nas proximidades do apiário ou mesmo climatéricas extremas. A baixas temperaturas normalmente inibem atividades das abelhas, ao enfraquecimento da colónia consequentemente uma diminuição na população e tamanho dos favos. Para além disso pode ocorrer a morte da colmeia que já estava fraca antes do inverno ou estavam em processo de crescimento.

Quando estamos perante um elevado aumento de humidade, indica possíveis danos na estrutura da colmeia, contrariamente uma humidade baixa demonstra condições ambientais desfavoráveis.

Devido aos crescente procura de mel e aumento de furtos e vandalismo desenvolveu-se um sistema de medição de movimento, com sucesso.

O método de medição de fluxo de abelhas permite ao apicultor ter mais uma ferramenta de auxílio no desenvolvimento do estudo da sua produção. Começou-se por explorar tipos de sensores que permitem realizar monitorização, sem interferir com a vida da colmeia. Durante a fase experimental os dispositivos infravermelhos e fototransístores possibilitaram um bom resultado na deteção de fluxo, sem interferir no organismo da abelha. Com este tipo de medição é possível prever a produção de um novo enxame, como varia o fluxo de entradas e saídas durante o

dia. Também pode-se verificar qual a época do ano que a colónia está mais ativa. Com este tipo de medidas é possível tirar ilações sobre produção da colmeia, em função da temperatura, humidade e fluxo de abelhas.

As comunicações são importantes neste trabalho, sendo este um dos requisitos de muitos apicultores, porque a deslocação diária aos seus apiários para verificar o estado das suas colmeias não é possível, devido a estas maioritariamente se encontrarem em locais de difícil acesso. Neste trabalho foi implementado um sistema via rádio de comunicação entre o microcontrolador usado. Para as medidas e cálculos de parâmetros referidos e um dispositivo com possível ligação à rede local, para o apicultor extrair informação vital sobre as várias variáveis referidas.

Em suma o trabalho desenvolvido permite desenvolver novas linhas de investigação nas áreas de produção de abelhas, mel e avaliação deste ecossistema.

5.1 Linhas de desenvolvimento futuros

O trabalho desenvolvido possibilitou criar um protótipo funcional. Contudo como em qualquer primeira implementação existe características que requerem algumas alterações. Algumas dificuldades encontrados são descritas de seguida:

- Correto alinhamento dos emissores e também com os recetores;
- Garantir um ângulo correto entre recetor e emissor;
- Integração da régua na placa de circuito impresso;
- A estrutura onde estão implementados os emissores/recetores;

A adição de um sensor de peso, sensores e temperatura/humidade externos e sensores de som para estudar a acústica na época de maior atividade da colmeias, são mais valia para o produtor. Para desenvolvimentos futuros, para além da descrição já feita, o desenvolvimento de uma aplicação móvel em que fosse possível a interação com o sistema criado em tempo real melhoraria a interface entre o sistema e o utilizador.

Apêndice A

Projeto e montagem

Transmissão de dados do BBB para Internet

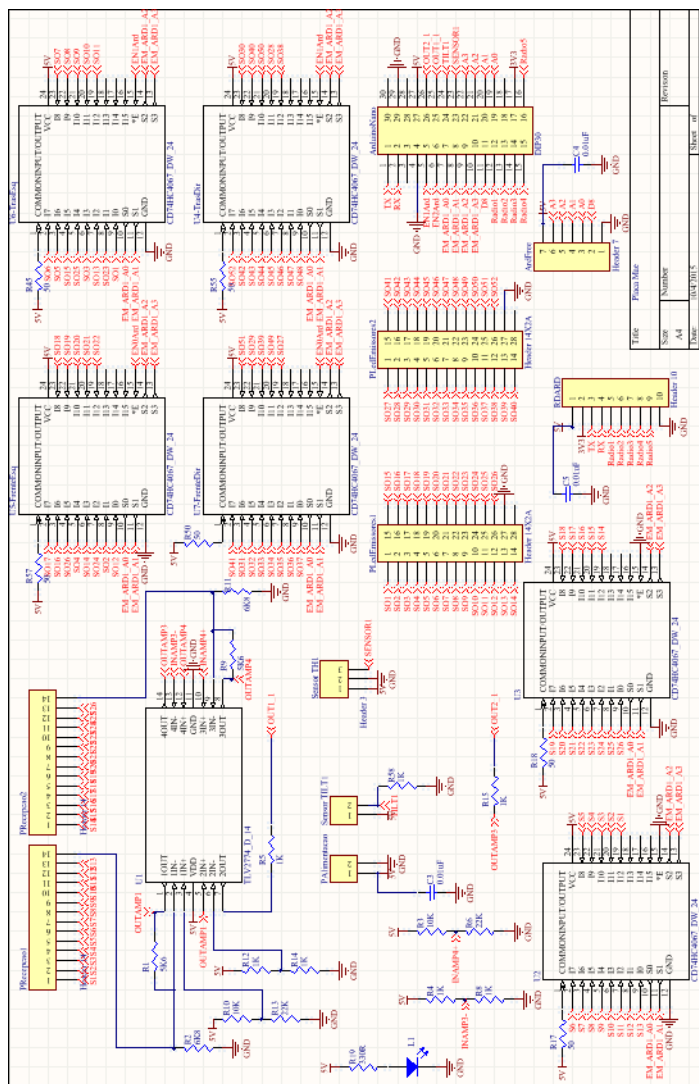


Figura A.1: Circuito geral do sistema.

Apêndice C

Projeto e montagem

C.0.1 Circuito emissão

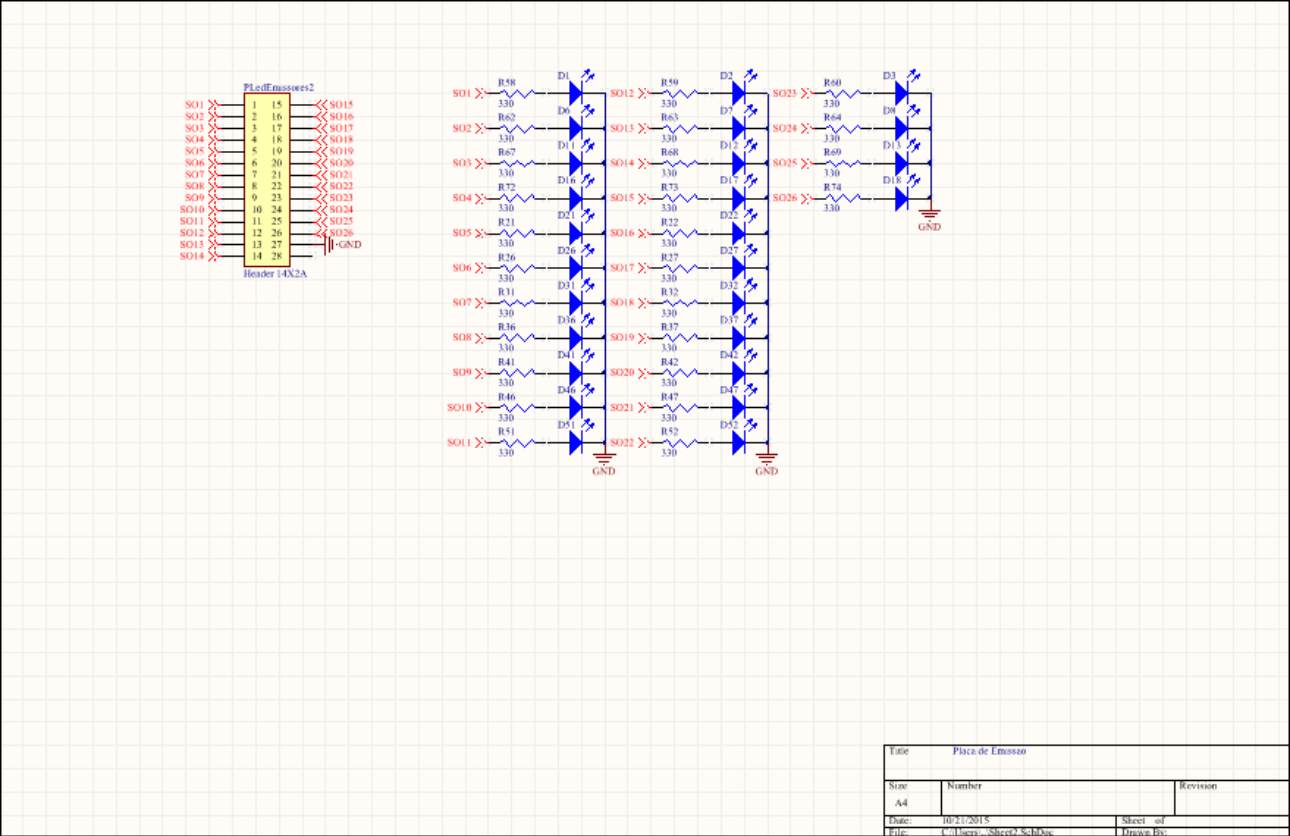


Figura C.1: Circuito dos emissores.

Apêndice D

Projeto e montagem

D.0.2 Circuito emissão

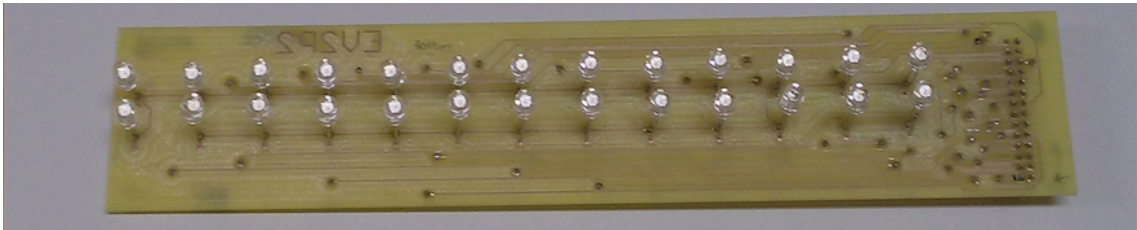


Figura D.1: Placa de circuito impresso dos emissores.

Apêndice E

Projeto e montagem

E.0.3 Circuito emissão

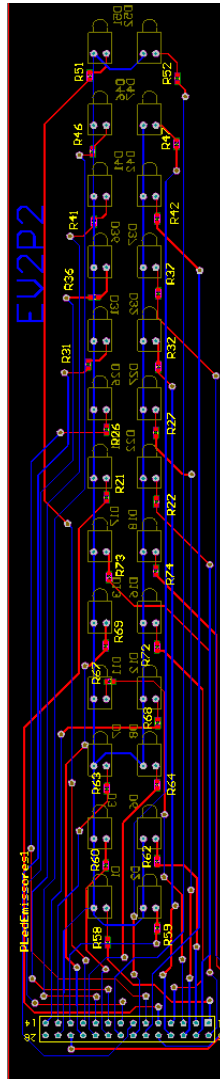


Figura E.1: Layout da placa dos Emissores

Projeto e montagem

F.0.4 Circuito recepção

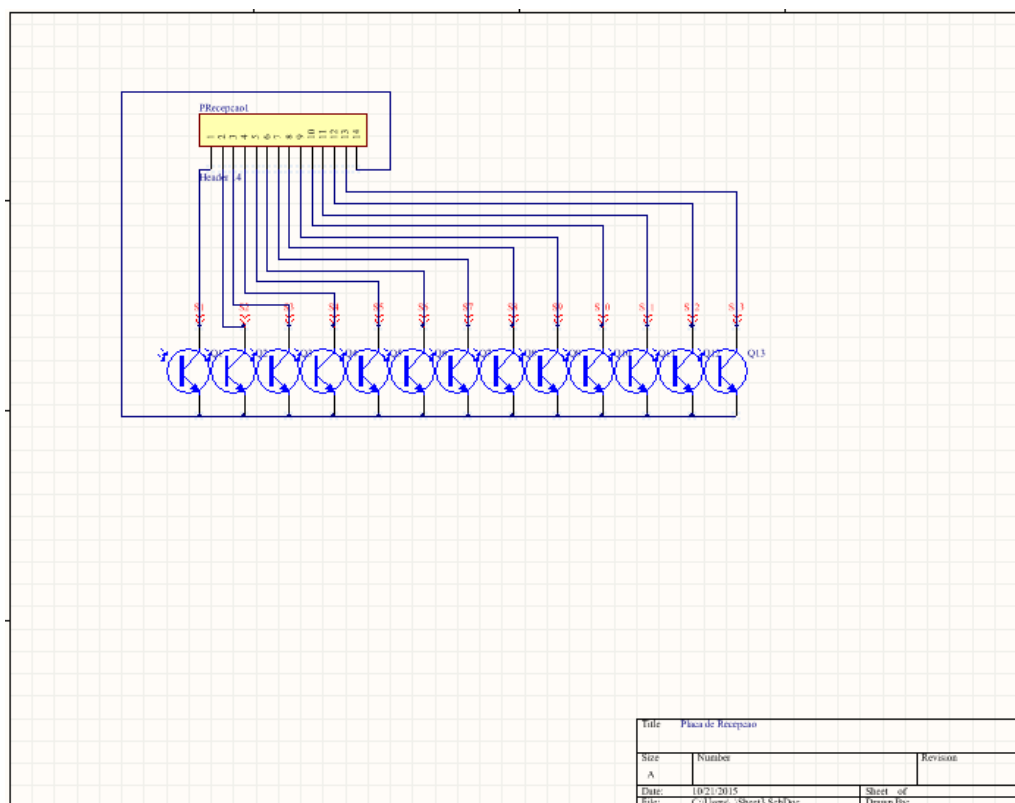


Figura F.1: Circuito de recepção.

Apêndice G

Projeto e montagem

G.0.5 Circuito receção

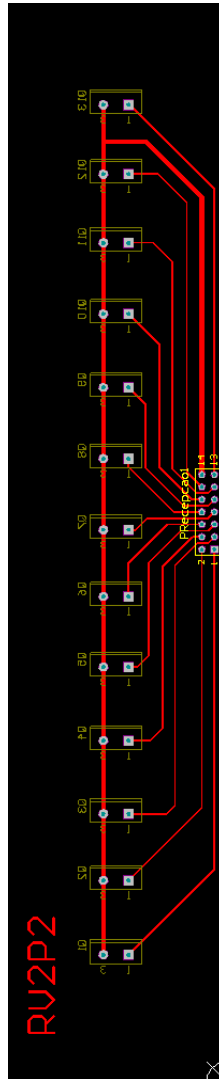
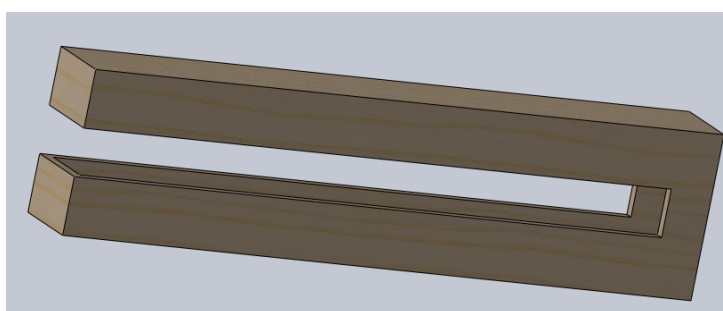


Figura G.1: Layout da placa dos Recetores.

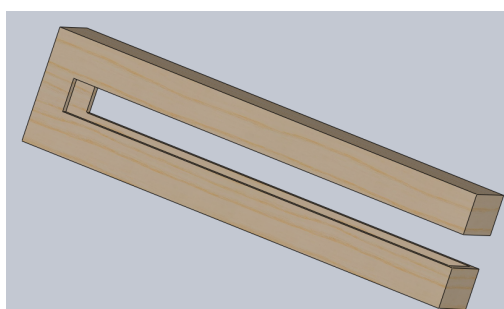
Apêndice H

Consolidação e testes de desempenho do protótipo

H.1 Desafios encontrados



(a) Régua Emissores



(b) Régua Emissores

Figura H.1: Primeiras ideias da caixa do sistema.

Bibliografia

- [1] A. Coppini., “Tri colour bumble bee.” <http://aprilcoppini.com/drawings.htm>. [Online; acedido a 5-Janeiro-2014].
- [2] Timberbee., “Colmeia lusitana.” <http://www.timberbee.com/produto/colmeia-lusitana/>. [Online; acedido a 5-Janeiro-2014].
- [3] Timberbee., “Colmeia top bar.” <http://www.timberbee.com/produto/colmeia-top-bar/>. [Online; acedido a 5-Janeiro-2014].
- [4] Embrapa, “Organização e estrutura da colmeia.” <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mel/SPMel/organizacao.htm>. [Online; acedido a 5-Janeiro-2014].
- [5] Adafruit, “Tutorial como utilizar o sensor tilt com arduino.” <http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/images/products/10289-01.jpg>. [Online; acedido a 5-Janeiro-2013].
- [6] Tecnoblog., “Um acelerômetro da stmicroelectronics.” <https://tecnoblog.net/71310/acelerometro-notebooks/organizacao.htm>. [Online; acedido a 5-Janeiro-2013].
- [7] Hivetool, “A computer vision bee counter.” Video Monitoring of Honey Bee Colonies at the Hive Entrance by @intel.com Intel Research Pittsburgh. [@intel.com Intel Research Pittsburgh].
- [8] H. monitor, “Prototype system in operation.” <http://openenergymonitor.org/emon/beemonitor>. [Online; acedido a 5-Janeiro-2013].
- [9] Smartcitizen, “Prototype system in operation.” <https://smartcitizen.me>. [Online; acedido a 5-Janeiro-2014].
- [10] Arnia, “Prototype system in operation.” <http://www.arnia.co.uk/hive-scales/bumblebee-scales/>. [Online; acedido a 5-Janeiro-2014].
- [11] Solutionbee, “Solutionbee.” <http://www.solutionbee.com/index.html#prod>. [Online; acedido a 5-Janeiro-2014].
- [12] Solutionbee, “Solutionbee.” <http://www.solutionbee.com/acquisition.html>. [Online; acedido a 5-Janeiro-2014].

- [13] iBeeCare, “Sistema desenvolvido.” <http://exameinformatica.sapo.pt/videos/reporterei/2013-10-17-ibeecare-tecnologia-para-proteger-as-abelhas>. [Online; acedido a 5-Janeiro-2013].
- [14] P. M. Sousa, “Lusitana.”
- [15] Timberbee, “Descrição do produto.”
- [16] T. Serradas, “6724 ministério da agricultura,” pp. 6724–6729, 2005.
- [17] Embrapa, “Organização social e desenvolvimento das abelhas apis mellifera.”
- [18] “Honeybee navigation en route to the goal: visual flight control and odometry,” *The Journal of experimental biology*, vol. 199, no. Pt 1, pp. 237–44, 1996.
- [19] D. Favre, “Mobile phone-induced honeybee worker piping,” vol. 270-279, p. 42, 2011.
- [20] M. Y. M. A. M. S. C. Mendez, Gerard Rudolph, “A wifi based smart wireless sensor network for an agricultural environment,” pp. 405–410, 2011.
- [21] Embrapa, “Doenças e inimigos naturais das abelhas.”
- [22] P. Art, “Acoustic analysis of bee behavior part1,” pp. 1–6, 2006.
- [23] R. S. I. R. P. Jason Campbell, Lily Mummert, “A computer vision bee counter,”
- [24] Arnia., “Arnia.” <http://www.arnia.co.uk/products-research/>. [Online; acedido a 5-Janeiro-2014].
- [25] Solutionbee, “Solutionbee.” <http://www.solutionbee.com/products.html>. [Online; acedido a 5-Janeiro-2014].
- [26] greenisa, “Monitorizar automaticamente as colmeias..”
- [27] Animaldiversity, “Apis mellifera honey bee.”
- [28] Arduino.cc, “Arduino nano.”
- [29] A. O. M. de Oliveira e Sandra de M. Soares, “Porque as abelhas de apis mellifera sÃ£o atraídas por lâmpadas incandescentes que por lâmpadas indraver-melhas,” 2001.
- [30] Atmel, “ATmega328P,” p. 650, 2014.
- [31] Beagleboard.org, “Beagleboard black.”
- [32] Adafruit, “Am2302 temperature and humidity sensor.” <https://www.adafruit.com/products/393>.